



2578
Месурит работъ
т. 9 месуров
К. 1933
10139 03
5622
- 76.

Предисловіе.

Предлагаемый трудъ является результатомъ попытокъ рѣшить теоретическимъ путемъ нѣкоторыя практическія задачи технической эксплуатаціи желѣзныхъ дорогъ, найти хотя бы приблизительную схему составныхъ частей эксплуатационной работы и дать теоретическое обоснованіе тѣмъ принципамъ, кои отчасти уже вошли въ жизнь и примѣняются на практикѣ.

Вмѣстѣ съ тѣмъ, этотъ же трудъ неразрывно связанъ съ положеніемъ объ учетѣ работы подвижного состава на отдѣленіяхъ Службы Движенія Екатеринбургской ж. д. и проектомъ премій по утилизаціи подвижного состава той же дороги, являясь ихъ теоретическимъ дополненіемъ.

Екатеринбургъ, 26 октября 1903 г.

8
ПРИВРЕМЕННО 1903

ДИИТ
БМЕ ПОТЕМА
№ 10139

Источники.

Н. И. Карташовъ.—„Опытное изслѣдованіе паровозовъ“.
Blum, v. Borries & Barkhausen. — „Die Eisenbahn-Technik der
Gegenwart“, В. I. (русскій переводъ „Паровозы“ т. I. 1900 г.).

Heusinger von Waldegg.—„Handbuch für specielle Eisen-
bahn-Technik“.

М. С. Филоненко.—„Къ вопросу объ ускореніи товар-
ныхъ поѣздовъ“.—„Очеркъ системы отправленія поѣздовъ
ранѣе росписаній на Екатеринбургской ж. д. и ея результаты“.

Б. П. Черскій.—„Полезный вѣсъ поѣздовъ“,—„Премія по
службѣ движенія Юго-Западныхъ ж. дор.“,—„О результатахъ
примѣненія на Юго-Западныхъ ж. д. облегченныхъ способовъ
отправленія поѣздовъ“.

Инженеръ.

Revue générale des chemins de fer.

Le Génie civil.

Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens.

Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbe
eisses.

Railroad Gasette.

О г л а в л е н і е .

	СТР.
I. Общія понятія	3
II. Расходъ механической энергіи на вагоно-единице- верету	10
III. Зависимость между скоростью поѣзда и его составомъ и вѣсомъ	15
IV. Сопротивленіе поѣзда движенію	17
V. Сила тяги паровоза	18
VI. Напряженность поверхности нагрѣва	23
VII. Индикаторная работа и сила тяги	24
VIII. Нахождение наивыгоднѣйшей скорости, дающей наименьшій расходъ пара и топлива на единицу работы поѣзда	36
IX. Наивыгоднѣйшее значеніе напряженности по- верхности нагрѣва	45
X. Измѣритель работы поѣзда	61
XI. Примѣненіе принципа виртуальныхъ длинъ къ отысканію наивыгоднѣйшихъ скоростей и соста- вовъ	64
XII. Примѣненіе общихъ выводовъ къ нормальному товарному паровозу compound русскихъ желѣз- ныхъ дорогъ	70
XIII. Зависимость провозной способности желѣзныхъ дорогъ отъ измѣрителя работы паровозовъ	82
XIV. Зависимость измѣрителя работы паровоза отъ поверхности нагрѣва котла, ея напряженности и предѣльнаго давленія въ котлѣ	84

XV.	Зависимость измѣрителей работы паровоза отъ профиля участка и добавочныхъ сопротивленій отъ погоды	89
XVI.	Стоимость часа работы паровозовъ въ товарныхъ поѣздахъ	91
XVII.	Часть стоимости вагоно-единице-версты въ зависимости отъ поѣздной службы	110
XVIII.	Часть стоимости вагоно-единице-версты въ зависимости отъ расходовъ по ремонту и содержанию вагоновъ	111
XIX.	Выраженіе эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты	113
XX.	Часть стоимости вагоно-единице версты въ зависимости отъ простоевъ поѣздовъ по станціямъ	115
XXI.	Вліяніе одиночнаго пробѣга на стоимость вагоно-единице-версты	121
XXII.	Общее выраженіе эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты	124
XXIII.	Выраженіе эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты для Екатерининской дороги	126
XXIV.	Общее выраженіе эксплуатационной стоимости пудо-версты полезнаго груза	132
XXV.	Эксплуатационное значеніе коэффициента полезнаго дѣйствія вагонной тары	134
XXVI.	Эксплуатационное значеніе средней нагрузки вагоновъ	140
XXVII.	Изслѣдованіе выраженія общей эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты	141
XXVIII.	Эксплуатационное значеніе скорости и составовъ товарныхъ поѣздовъ	142

	ix.
	стр.
XXIX. Эксплоатаціонное значеніе величины простоевъ поѣздовъ на промежуточныхъ станціяхъ . . .	149
XXX. Эксплоатаціонное значеніе величины поверхности нагрѣва и ея напряженности	152
XXXI. Эксплоатаціонное значеніе профиля	154
XXXII. Эксплоатаціонное значеніе одиночнаго пробѣга паровозовъ	155
XXXIII. Заключение	156

Общая понятія.

Эксплоатационныя задачи желѣзныхъ дорогъ или ихъ отдѣльныхъ участковъ заключаются въ выполненіи предъявляемыхъ къ дорогѣ перевозокъ, величина которыхъ можетъ быть выражена въ соответствующемъ пробѣгѣ въсовыхъ единицъ груза, т. е. въ пудо-верстахъ, тонно-километрахъ и другихъ единицахъ *). Переработка предъявленныхъ пудо-верстъ или тонно-километровъ груза, въ зависимости отъ степени полноты грузности вагоновъ и соотношенія между теченіемъ груженыхъ и порожнихъ вагоновъ, вызоветъ опредѣленный пробѣгъ вагонныхъ единицъ, выражаемый въ вагоно-единице-верстахъ. Для данной дороги или участка, за извѣстный періодъ, по статистическимъ даннымъ, всегда можно опредѣлить среднюю нагрузку вагонной единицы. Полагая для будущаго расчетнаго періода величину средней нагрузки постоянной, легко, исходя изъ числа пудо-верстъ груза, подлежащихъ выполненію, опредѣлить потребное количество вагоно-единице-верстъ, какъ

*) Такимъ образомъ можетъ быть выражено задание для подавляющаго большинства перевозокъ настоящаго времени, къ каковымъ относятся такъ называемые грузы малой скорости. Хотя и для этой категоріи перевозокъ существуютъ сроки (150 вер. въ сутки), но они настолько велики, что задание можетъ быть выражено въ абсолютныхъ единицахъ работы перевозки, не вводя элемента времени. Весьма возможно, что не въ далекомъ будущемъ потребности жизни вызовутъ цѣлый рядъ перевозокъ разныхъ и вмѣстѣ съ тѣмъ такихъ скоростей, что задание перевозокъ необходимо будетъ частью выражать и въ единицахъ напряженности работы перевозокъ, т. е. въ пудо-верстахъ, тонно-километрахъ и пр. Такъ называемые грузы большой скорости

также имѣютъ столь значительные сроки, что и здѣсь вводить элементъ времени пока не имѣетъ основанія. Только для перевозки пассажировъ, особенно въ скорыхъ и скоростныхъ поездахъ, а также для грузовъ пассажирской скорости и теперь является необходимостью вводить элементъ времени, т. е. считаться съ напряженностью работы перевозокъ.

частное от дѣленія пудо-верствъ груза на среднюю нагрузку вагонной единицы. Для цѣлей учета, было бы гораздо точнѣе выражать и пробѣгъ вагоновъ въ пудо-верстахъ ^{Гамма-километры} или точно-километрахъ брутто вѣса поѣздовъ. Отношеніе ^{Гамма-километры} полезнаго груза къ ^{Гамма-километры} пудо-верствъ брутто вѣса поѣздовъ должно быть всегда правильной дробью и можетъ быть названо коэффициентомъ полезнаго дѣйствія вагонной тары. Величина этого коэффициента должна находиться всегда въ опредѣленномъ соотношеніи къ средней нагрузкѣ вагонной единицы. Если обозначить среднюю нагрузку вагонной единицы черезъ a , тару вагонной единицы черезъ b , коэффициентъ полезнаго дѣйствія тары черезъ η , пудо-верствы ^{Гамма-километры} полезнаго груза черезъ A , пудо-версты общаго пробѣга черезъ B , то очевидно всегда должны существовать слѣдующія соотношенія между этими величинами.

$$\frac{A}{B} = \eta \text{ и } B = \frac{1}{\eta} A \quad (\text{I})$$

$$\frac{a}{b} = \frac{A}{B - A} = \frac{A}{A (\frac{1}{\eta} - 1)} = \frac{1}{\frac{1}{\eta} - 1} \text{ и } \eta = \frac{1}{1 + \frac{b}{a}} \quad (\text{II})$$

Такъ какъ на большинствѣ дорогъ принято первымъ способомъ, т. е. въ вагоно-единице-верстахъ, выражать работу поѣздовъ, а въ послѣдующемъ придется обращаться съ разнаго рода данными существующихъ дорогъ, то въ предстоящемъ изложеніи принять этотъ способъ измѣренія работы поѣздовъ, хотя и не такъ точный, но общепринятый. Повышеніе средней нагрузки вагоновъ или коэффициента полезнаго дѣйствія вагонной тары составляетъ важнѣйшую задачу при эксплуатаціи дороги. Необходимо упомянуть, что для желѣзныхъ дорогъ, перевозящихъ главнѣйшимъ образомъ навалочные грузы, при нормальномъ теченіи эксплуатационной жизни и регулярномъ вагонообмѣнѣ съ сосѣдними дорогами, средняя нагрузка вагонной единицы и указанный коэффициентъ имѣютъ устойчивое значеніе, такъ какъ почти не зависятъ отъ переменныхъ значеній погрузочныхъ организацій и степени

успѣшности работы агентовъ, вѣдающихъ надзоръ и самое дѣло погрузки.

Такимъ образомъ, работа товарныхъ поѣздовъ всегда можетъ быть выражена числомъ вагоно-единице-веретъ, подлежащихъ переработкѣ поѣздами. Это число вагоно-единице-веретъ, въ зависимости отъ составовъ поѣздовъ и скоростей ихъ движенія, опредѣляетъ потребное количество поѣздо-веретъ и паровозо-веретъ, поѣздо-часовъ и паровозо-часовъ работы поѣздовъ и паровозовъ. Количества поѣздо-веретъ и паровозо-веретъ, поѣздо-часовъ и паровозо-часовъ, были бы всегда равны, если бы не было маневровой работы паровозовъ, двойной тяги, подталкивающихъ паровозовъ и одиночного или, такъ называемаго, резервнаго пробѣга паровозовъ. Наличие на каждой дорогѣ послѣднихъ обстоятельствъ обуславливаетъ, что число поѣздо-веретъ и поѣздо-часовъ всегда меньше числа паровозо-веретъ и паровозо-часовъ.

Если изъ общаго пробѣга паровозовъ исключить маневровый пробѣгъ, какъ независимый отъ работы поѣздовъ, то всю работу паровозовъ можно расчлениить на два вида: полезную работу и пробѣгъ паровозовъ въ поѣздахъ и бесполезный пробѣгъ и работу при одиночномъ слѣдованіи паровозовъ. Если предположить, что средніе составы поѣздовъ въ обѣ стороны одинаковы, то отношеніе одиночнаго пробѣга паровозовъ къ пробѣгу въ поѣздахъ будетъ зависѣть только отъ соотношенія грузовыхъ теченій въ оба направленія или, что то же самое, отъ соотношенія порожняго пробѣга вагоновъ къ груженому. Если же, какъ это бываетъ, по большей части, въ дѣйствительности, средніе составы поѣздовъ въ оба направленія не равны, то соотношеніе одиночнаго пробѣга къ пробѣгу въ поѣздахъ будетъ зависѣть еще и отъ соотношенія среднихъ вѣсовыхъ значеній составовъ въ оба направленія. Число же часовъ одиночной работы паровозовъ будетъ зависѣть отъ величины одиночнаго пробѣга и его средней скорости. Отношеніе одиночнаго пробѣга къ пробѣгу въ поѣздахъ должно

выражаться всегда правильной дробью и может быть названо коэффициентом бесполезного одиночного пробѣга.

Подобнымъ же образомъ, средняя коммерческая скорость движенія поѣздовъ всегда ниже средней скорости на перегонахъ. Поэтому отношеніе первой величины ко второй будетъ всегда правильной дробью и можетъ быть названо коэффициентомъ полезнаго дѣйствія перегонной скорости. Указанное соотношеніе скоростей и соответствующій коэффициентъ β зависятъ исключительно отъ величины простоевъ поѣздовъ на остановочныхъ пунктахъ. Если предположить, что на каждыя a версты пробѣга поѣздовъ приходится часъ простоя по станціямъ, то, очевидно, всегда должно существовать слѣдующее соотношеніе:

$$\frac{v_0}{v} = \beta = \frac{a}{a+v} = \frac{1}{1+\frac{v}{a}}$$

гдѣ v_0 — средняя коммерческая скорость
 v — средняя перегонная скорость. ✓

Въ первой части нашего изслѣдованія означенные коэффициенты будутъ приниматься за величины постоянныя, а въ дальнѣйшемъ будетъ указана зависимость эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты отъ указанныхъ коэффициентовъ, принимаемыхъ уже за величины переменныя, при постоянномъ значеніи другихъ основныхъ переменныхъ.

Такимъ образомъ, если сдѣлать нижеслѣдующія обозначенія:

~~W_0~~ и ~~W_{km}~~ вагоно-единице-версты
 или километры,

~~P_0~~ и ~~P_{km}~~ поѣздо-версты или километры,

T_p поѣздо-часы,

~~L_0~~ и ~~L_{km}~~ паровозо-версты
 или километры,

T_e паровозо-часы,

} при работѣ въ поѣздахъ.

~~Ц~~ и L/km паровозо-~~версты~~
или километры } при одиночномъ про-
 T' паровозо-часы } бѣгѣ.

~~v~~ и v/km средняя скорость на перегонѣ въ ~~вер-~~
~~стахъ~~ или километрахъ въ часъ,

~~v₀с~~, v_0/km средняя коммерческая скорость, ~~въ вер-~~
~~стахъ~~ или километрахъ въ часъ,

v_1 средняя скорость одиночнаго пробѣга на
перегонѣ,

n_0 средній составъ для поѣздовъ,

$\beta = \frac{v_0}{v} = \frac{a}{a+v}$ — коэффициентъ полезнаго дѣйствія пере-
гонной скорости,

$\gamma = \frac{L'}{P}$ — отношеніе одиночнаго пробѣга къ про-
бѣгу въ поѣздахъ или коэффициентъ
безполезнаго пробѣга,

a — пробѣгъ поѣздовъ, соответствующій часу простоевъ на станціяхъ, то всегда должны существовать между этими величинами нижеслѣдующія соотношенія.

$$\frac{W}{P} = n_0 \text{ и } P = \frac{W}{n_0} \quad (1)$$

$$\frac{P}{T_p} = v_0 \text{ и } T_p = \frac{P}{v_0} \quad (2)$$

и какъ слѣдствіе ур. (1) и (2) :

$$\frac{W}{T_p} = v_0 n_0 \text{ и } \frac{W}{T} = v_1 n \quad (3),$$

е. 1) вагоно-единице ~~версты~~ ^{километры}, дѣленные на поѣздо-версты, ^{кило-}
въ средній составъ; 2) поѣздо-версты, ^{кило-} дѣленные на
поѣздо-часы, дають соответственную среднюю скорость; 3)
сведеніе состава и скорости представляетъ количество

вагоно-единице-версты ^{Милл.}, перерабатываемыхъ поѣздомъ, или паровозомъ, за часъ работы.

Если, такимъ образомъ, паровозъ за часъ своей работы въ поѣздѣ перерабатываетъ m вагоно-единице-версты ^{Милл.}, то стоимость каждаго паровозо-часа будетъ обуславливать стоимость каждой ^{Милл.} переработанной вагоно-единице-версты. Ниже будетъ показано, что стоимость паровозо-часа можно выразить въ зависимости отъ поверхности нагрѣва котла U , напряженности поверхности нагрѣва k , предѣльнаго давления въ котлѣ p , соотношенія между рабочимъ профилемъ участка и общимъ его протяженіемъ $\frac{l}{l_0}$ и ряда постоянныхъ численныхъ коэффициентовъ. Съ другой стороны, произведение состава на скорость— m —можетъ быть выражено, какъ будетъ показано ниже, въ зависимости отъ вышеупомянутыхъ величинъ H , k , $\frac{l}{l_0}$, скорости движенія v , эквивалентнаго подъема участка i , предѣльной скорости движенія поѣздовъ на скатахъ v_{max} и ряда постоянныхъ численныхъ коэффициентовъ (параметровъ). Кроме этого, на каждыя вагоно-единице-версты ^{Милл.} ложатся накладнымъ расходомъ: стоимость простоя поѣздовъ по станціямъ, стоимость одиночнаго пробѣга и цѣлый рядъ другихъ расходовъ, о которыхъ подробно будетъ сказано ниже. Такимъ образомъ, главнѣйшей задачей является выраженіе общей эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты ^{Милл.} M_0 , въ зависимости отъ основныхъ переменныхъ величинъ и ряда постоянныхъ численныхъ коэффициентовъ (параметровъ). Ниже мы покажемъ, что основными переменными величинами являются десять величинъ: v , v_{max}

a , γ , v_1 , i , $\frac{l}{l_0}$, H , k , p . Слѣдовательно, прежде всего наши задачи будутъ заключаться, во-первыхъ, въ отысканіи указанныхъ независимыхъ переменныхъ, а, во-вторыхъ, въ отысканіи общаго выраженія эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты ^{Милл.}

въ зависимости отъ этихъ величинъ и ихъ параметровъ, т. е. другими словами, въ найденнѣи вида функціи.

$$M_0 = F(v, v_{max}, a, \gamma, v_1, i, \frac{l}{l_0}, H, k, p).$$

Если положить значенія величинъ $a, \gamma, v_1, i, \frac{l}{l_0}$ постоянными, то эксплуатаціонныя задачи будутъ сведены только къ тому, чтобы стоимость каждой вагоно-единице-версты была наименьшей въ зависимости отъ типовъ паровозовъ, среднихъ скоростей движенія поѣздовъ и среднихъ составовъ. При данномъ же типѣ паровозовъ, т. е. постоянныхъ $H, k,$ и p , общая стоимость вагоно-единице-версты, слѣдовательно, будетъ зависѣть отъ двухъ переменныхъ: состава n и скорости v , при чемъ составъ въ свою очередь зависитъ только отъ скорости, для даннаго паровоза и подъема. Въ этомъ предположеніи начнемъ изслѣдованіе вопроса.

Если взять любой участокъ дороги съ даннымъ профилемъ и извѣстнымъ установившимся характеромъ работы поѣздовъ, то, съ строго опредѣленной мѣрой приближенія, можно подыскать наивыгоднѣйшіе элементы работы даннаго типа паровозовъ, т. е. наивыгоднѣйшій средній составъ и наивыгоднѣйшую среднюю скорость ихъ движенія. Съ исключительно механической точки зрѣнія, наивыгоднѣйшими составами и составами, мы должны считать тѣ скорости и составы при которыхъ механическое значеніе вагоно-единице-верст т. е. затрата механической работы въ видѣ топлива и па на ея выполненіе, будетъ наименьшимъ. Съ общей эксплуатаціонной (коммерческой) точки зрѣнія, наивыгоднѣйшими условіями работы паровозовъ даннаго типа на данномъ участкѣ мы должны считать тѣ, при коихъ значеніе вагоно-единице-версты, выраженное въ денежной стоимости, будетъ наименьшее. Необходимо помнить, что эти два значенія вагоно-единице-версты, т. е. механическое и коммерческое, при

однѣхъ и тѣхъ же прочихъ равныхъ условіяхъ, не совпадаютъ, такъ какъ въ механическую величину вагоно-единице-версты входитъ лишь затраченная механическая работа, а денежная стоимость вагоно-единице-версты составляется не только изъ стоимости потраченной механической работы, но и изъ стоимости работы людей, т. е. паровозныхъ и кондукторскихъ бригадъ и другихъ накладныхъ расходовъ, частью зависящихъ отъ механической работы, частью отъ пробѣга и скорости и другихъ факторовъ, подробный анализъ каковыхъ приводится ниже.

Но такъ какъ, чтобы найти условія наименьшей стоимости вагоно-единице-версты, необходимо сначала опредѣлить условія наименьшаго значенія вагоно-единице-версты, какъ механической работы, то рѣшеніе вопроса начнемъ съ этой послѣдней стороны вопроса.

Расходъ механической энергии на вагоно-единице-версту.

Съ механической точки зрѣнія вагоно-единице-верстой будемъ называть ту механическую работу, которую необходимо затратить на передвиженіе нормальной вѣсовой вагонной единицы (1195 пуд.—19,5 тонны) на версту или километръ соответствующаго профиля участка. Эта работа можетъ быть выражена въ килограммо-метрахъ или пудо-футахъ. Въ послѣдующемъ условимся говорить о вагоно-единице-километрѣ и выражать въ килограммометрахъ.

Такъ какъ каждый участокъ имѣетъ разнообразныя условія профиля, то при изслѣдованіяхъ необходимо каждый разъ разбивать его на отдѣльныя части съ равномернымъ подъемомъ и сопротивленіемъ или переходить отъ дѣйствительнаго профиля къ условному среднему профилю. Среднимъ профилемъ будемъ считать такой условный профиль участка, для котораго передвиженіе вагоно-единицы на единицу протяженія по-

требует работы средней для всего участка. Какъ известно, для сведенія любого профиля на профиль равновеликой средней работы или среднего сопротивленія движению поѣзда, употребляется тотъ принципъ виртуальныхъ длинъ и коэффициентовъ, по которому все подъемы и кривыя рабочей части профиля множатся на соответствующіе коэффициенты, а скаты свыше 0,003 считаются нерабочей частью участка. Подобныя виртуальныя длины называются тяговыми и обычно нечисляются для опредѣленія размѣровъ водоснабженія. Если, напримеръ, имѣемъ участокъ, рабочей профиль котораго въ известномъ направленіи имѣетъ виртуальный коэффициентъ 1,65, то это значитъ, что данный профиль по данному направленію мы можемъ замѣнить профилемъ, имѣющимъ на всемъ протяженіи равномерный 0,002 подъемъ, такъ какъ виртуальный коэффициентъ 1,6543 соответствуетъ 0,002 подъему. Работа, потребная на передвиженіе вагоно-единицы, на единицу длины или на все протяженіе этого участка, будетъ равновелика той, которая будетъ затрачиваема при передвиженіи вагоно-единицы и прочихъ равныхъ условіяхъ на единицу длины или то же протяженіе 0,002 подъема.

Среднее механическое значеніе вагоно-единице-версты или километра вообще различно для разныхъ скоростей и участковъ, въ зависимости отъ средняго виртуальнаго коэффициента послѣднихъ.

Такимъ образомъ, если обозначить работу, потребную на выполненіе вагоно-единице-версты или километра, черезъ R , средній виртуальный коэффициентъ профиля участка черезъ Z а среднюю скорость на перегонѣ черезъ v , то

$$R=f(v, Z).$$

Для одного и того же участка и направленія виртуальный коэффициентъ можно считать величиной постоянной, хотя, строго говоря, таковой представляеть функцію не только профиля, но и скорости. Для

простоты расчета, съ достаточной степенью точности, высказанное общепринятое положеніе можетъ быть положено въ основу дальнѣйшихъ разсужденій. Такимъ образомъ, для даннаго участка и направленія всегда можно принять

$$R=f(v)$$

Высказанное положеніе будетъ понятнѣе, если представить, какъ указанныя явленія происходятъ въ дѣйствительности. Каждую вагоно-единицу можно передвинуть по данному профилю, на примѣръ, по площадкѣ, на единицу длины съ затратой разнаго количества работы въ зависимости отъ скорости. Если бы сопротивленіе вагона движенію и расходъ пара и топлива на лошадиную силу были бы величинами постоянными, не зависящими отъ скорости движенія, то работа, затрачиваемая на передвиженіе вагоновъ на извѣстномъ протяженіи, не зависѣла бы отъ скорости и была бы пропорциональна длинѣ передвиженія, и вагоно-единице-верста или километръ была бы величиной постоянной для даннаго участка, внѣ зависимости отъ скорости движенія. На самомъ же дѣлѣ, какъ мы знаемъ, сопротивленіе движенію поѣздовъ возрастаетъ быстрѣе, чѣмъ скорость, а расходъ пара на лошадиную силу бываетъ разный при разныхъ скоростяхъ. Называя сопротивленіе поѣзда движенію, въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда; черезъ W и пользуясь общей формулой сопротивленія поѣздовъ движенію, имѣемъ для всего поѣзда, т. е. паровоза и вагоновъ:

$$W = \alpha + \beta v + \gamma v^2$$

гдѣ α —постоянное сопротивленіе и соотвѣтствующій подъемъ въ тысячныхъ.

Назовемъ количество пара въ килограммахъ, расходуемое на вагоно-единице-километръ паровозомъ, т. е. механическое значеніе вагоно-единице-километра, выраженное въ килограммахъ пара, черезъ p . Примемъ во вниманіе, что количество вагоно-

единице-километровъ, перерабатываемыхъ паровозомъ въ часъ, равно произведенію состава на скорость, т. е. $=vn$. Тогда потребный расходъ пара въ часъ паровозомъ, везущемъ n вагоновъ со скоростью v километровъ въ часъ, выразится какъ pvn . Съ другой стороны количество работы въ лошадиныхъ силахъ, которую можетъ дать данный паровозъ, можетъ быть выражено нѣкоторой функцией отъ скорости v

$$N = F(v)$$

гдѣ N —число лошадиныхъ силъ, даваемое въ часъ паровозомъ. Если по оси ординатъ откладывать число лошадиныхъ силъ N , а по оси абсциссъ откладывать скорости v , то законъ измѣненія N въ зависимости отъ v выразится, вообще говоря, кривой высшаго порядка, чѣмъ первая степень. Количество пара въ килограммахъ q , расходуемое паровозомъ въ часъ на лошадиную силу, не подчиняется строго опредѣленному закону и зависитъ отъ типа паровозовъ, допускаемаго давленія въ котлѣ и скорости.

На основаніи опытовъ Borries'a, произведенныхъ надъ товарными паровозами Compound Германскихъ дорогъ, расходъ пара въ килограммахъ на 1 полезную лошадиную силу выражается такъ:

Скорость въ <u>километр.</u> часъ	Расходъ пара въ <u>килограм.</u> часъ
10	9,80
20	8,80
30	8,40
40	8,60

Инженеръ Quegeau, производившій опыты надъ большими скоростями и пассажирскими паровозами Compound, даетъ слѣдующіе расходы пара:

Скорость : версть въ часъ	Число оборотовъ	Расходъ воды на ЦПР въ класъ
32,0—46,8	104—152	8,31
49,4—61,7	160—200	8,57 ✓
66,6—74,0 ✓	216—240	8,94 ✓
78,9—89,9	256—272	9,71

Обширные опыты нѣмецкаго инженера Leitzmann'a, лабораторные опыты послѣдняго времени американскаго профессора Госса, о которыхъ будетъ сказано ниже, равно какъ опыты Баушингера въ 60 годахъ, едва ли не первые въ паровозномъ дѣлѣ, словомъ всѣ наиболѣе извѣстные опыты надъ паровозами подтверждаютъ тотъ несомнѣнный и общій принципъ паровой механики, что для каждаго паровоза, какъ и для каждой паровой машины, существуетъ опредѣленная невыгоднѣйшая скорость, при которой расходъ пара на лошадиную силу въ часъ бываетъ наименьшій, и что для даннаго паровоза расходъ пара на лошадиную силу зависитъ только отъ скорости, если считать отсѣчку также въ опредѣленной зависимости отъ послѣдней.

Для большей простоты расчета можно предположить, основываясь на приведенныхъ опытахъ, что расходъ пара на 1 лошадиную силу для Compound паровозовъ подчиняется закону параболической кривой, имѣющей минимумъ для скоростей въ предѣлахъ 30 и 40 километровъ въ часъ.

Итакъ

$$q = f(v) \text{ и } q = a(v - e)^2 + c$$

гдѣ a , b и c , — параметры, зависящіе отъ типа паровоза и предѣльнаго давленія пара въ котлѣ. Способъ нахождения ихъ теоретически будетъ показанъ ниже.

Такимъ образомъ, общій расходъ пара паровозомъ, везу-
демъ составъ въ n вагоно-единиць при скорости v верстъ
или километровъ въ часъ, выразится

$$F(v) f(v).$$

Этотъ расходъ пара распределяется на n вагоно-единице-
километровъ, т. е.

$$pvn = F(v) f(v) \text{ и } p = \frac{F(v) f(v)}{vn}.$$

Если предположить, что паровозъ все время работаетъ
съ нѣкоторой напряженностью поверхности нагрѣва k , т. е.,
что общій расходъ пара котломъ равенъ Hk килограммовъ
въ часъ, то очевидно

$$F(v) f(v) = Hk \text{ и } p = \frac{Hk}{vn}.$$

Зависимость между скоростью поѣзда и его составомъ или вѣсомъ.

Такимъ образомъ, механическое значеніе вагоно-единице-
километра, выраженное въ килограммахъ расходуемаго пара,
можетъ быть всегда представлено въ видѣ нѣкоторой функ-
ціи отъ скорости v и состава n

$$p = \varphi(v, n)$$

Означенная функція, вообще говоря, всегда будетъ пред-
ставлять кривую поверхность нѣкотораго порядка высшаго,
чѣмъ первая степень.

Съ другой стороны для всякаго типа паровозовъ и дан-
наго профиля пути можно найти опредѣленную зависимость
между скоростью и составомъ или въ видѣ одной функціи
вида $\varphi_0(v, n) = 0$, или ряда функцій вида $\varphi_1(v, n) = 0$,

$$\varphi_2(v, n) = 0 \dots \varphi_n(v, n) = 0$$

Въ послѣднемъ случаѣ зависимость между v и n изображится участками кривыхъ соответствующихъ функций, пересекающихся поочередно другъ съ другомъ (см. рис. 1).

Если же всегда можно найти зависимость между скоростью и составомъ въ видѣ одной или нѣсколькихъ функций вида

$$\varphi_{0,1,2,\dots,n}(v, n) = 0,$$

то и механическое значеніе вагоно-единице-километра всегда можетъ быть выражено въ видѣ нѣкоторой функции отъ скорости v ,

$$\text{т. е. } p = \varphi'(v)$$

Можно доказать, что означенная функция въ общемъ случаѣ будетъ представлять кривую нѣкотораго порядка, отличнаго отъ первой степени.

На практикѣ, какъ далѣе будетъ показано, гораздо проще, найдя виды функции $\varphi_{0,1,2,\dots,n}$, графически изображать механическое значеніе вагоно-единице-километра и отсюда находить минимумъ, не прибѣгая къ отысканію сложнаго уравненія вида $p = \varphi'(v)$.

Теперь необходимо подробно указать способы нахождения зависимости между скоростью v и составами n . Наиболее простой и общепринятый способъ для этого графическій, и его мы будемъ имѣть въ виду при изложеніи.

Для поѣзда изъ n вагоновъ на данномъ профилѣ соответствующая скорость, какъ извѣстно, находится изъ равенства сопротивленія поѣзда движенію—силѣ тяги, развиваемой паровозомъ, или изъ равенства работы, потребной на преодоленіе сопротивленія поѣзда,—работѣ, развиваемой паровозомъ.

Выразимъ сначала кривыми сопротивленіе движенію поѣзда, откладывая по оси ординатъ сопротивленіе а по оси абсциссъ—скорость, поочередно для разныхъ составовъ и подъемовъ i , при чемъ подъ i будемъ

Можно

разумѣть эквивалентный подъемъ, включая и сопротивленія отъ кривыхъ. Всѣ означенныя кривыя будутъ второго порядка (параболы) и имѣть видъ $a + \beta v + \gamma v^2$.

Сопротивленіе поѣзда движенію.

Въ настоящее время изъ эмпирическихъ формулъ, употребляемыхъ для нахождения сопротивленія поѣзда, наиболѣе заслуживаютъ вниманія слѣдующія:

1) Формула Кларка, или такъ называемая, нѣмецкихъ инженеровъ, имѣющая видъ $2,4 + 0,001 v^2 + i$.

Сопротивленіе дается въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда, включая паровозъ и вагоны. Формула очень удобна для вычисленій.

2) Формула французскаго инженера Barbier, выведенная на основаніи цѣлой серии прекрасно обставленныхъ опытовъ на сѣверной французской желѣзной дорогѣ. Опыты производились надъ пассажирскими паровозами и на большихъ скоростяхъ до $120 \frac{klm}{h}$, съ наиболѣе совершеннымъ приборомъ авто-индикаторомъ.

Формула Barbier даетъ сопротивленіе отдѣльно для паровоза и отдѣльно для вагоновъ и имѣетъ видъ въ килограммахъ на тонну паровоза и поѣзда:

$$\text{для паровоза: } 3,8 + 0,027v + 0,0009v^2 + i,$$

для четырехъ-колесныхъ вагоновъ:

$$1,6 + 0,023v + 0,00046v + i$$

для восьми-колесныхъ вагоновъ на телѣжкахъ

$$1,6 + 0,00456v + 0,000456v^2 + i:$$

Формула Barbier для вычисленій уже менѣе удобна, чѣмъ формула Кларка, но безусловно точнѣе.

ДИИТ

СМЕ АОТЕНА

ИИИ. №

10139.

3) Формула проф. Петрова, которая имѣетъ видъ въ килограммахъ на тонну, для товарнаго паровоза.

$$4,3 + 0,15v + 0,001v^2 + i,$$

для товарныхъ вагоновъ дается общее сопротивление въ видѣ:

$$1,2Q + 0,9nv + 0,03(1 + 0,04n)v^2 + iQ$$

гдѣ Q —вѣсъ вагоновъ въ тоннахъ, а n —число вагоновъ

Во всякомъ случаѣ, можно установить съ большой точностью, что сопротивление поѣзда подчиняется закону кривой второго порядка вида $\alpha + \beta v + \gamma v^2$, и что сопротивление должно высчитывать отдѣльно для паровоза и отдѣльно для вагоновъ. Что касается значенія численныхъ коэффициентовъ (параметровъ), то таковыя различны для каждой дороги, въ зависимости отъ конструктивныхъ качествъ ея подвижнаго состава и того порядка, въ которомъ содержится паркъ ея вагоновъ.

Въ нашихъ дальнѣйшихъ расчетахъ мы предпочли пользоваться формулой проф. Петрова, пользуясь таблицами Фонъ-Раабена, по той причинѣ, что коэффициенты этой сложной формулы выведены для подвижнаго состава русскихъ желѣзныхъ дорогъ; что, по нашимъ собственнымъ наблюдениямъ, расчеты, произведенные по этой формулѣ, довольно близко сходятся съ дѣйствительностью, и что, наконецъ, коэффициенты для русскихъ желѣзныхъ дорогъ вообще должны быть нѣсколько выше, чѣмъ для европейскихъ, и въ виду менѣе благоприятныхъ среднихъ климатическихъ условій и нѣсколько худшаго состоянія подвижнаго состава.

Сила тяги паровоза.

Силу тяги паровоза цѣлесообразнѣе всего представить слѣдующемъ видѣ: если бы коэффициентъ сцепленія въ щихъ колесъ съ рельсами могъ имѣть какія угодно болшія значенія, а размѣры паровпускныхъ оконъ цилиндровъ

ке имѣли бы вполне достаточные размѣры, то сила тяги паровоза опредѣлялась бы исключительно той работой, которую можетъ дать паровозная машина. Въ зависимости отъ мѣста приложенія, эта работа всегда пропорціональна площади индикаторныхъ діаграммъ, получаемыхъ съ цилиндровъ, и скорости хода поршня или скорости движенія поѣзда. Силу тяги, опредѣляемую индикаторной работой или, что то же самое, индикаторными діаграммами, принято называть индикаторной силой тяги. Мѣстомъ приложенія этой силы являются поршни цилиндровъ. Индикаторная сила тяги, приложенная къ поршнямъ цилиндровъ, при посредствѣ передаточнаго механизма переносится на ободъ ведущихъ колесъ. Совокупность движущихся усилій паровоза можно всегда, какъ извѣстно, свести на пару силъ, плечо которой равно полудіаметру ведущихъ колесъ, а силы равны силѣ тяги, перенесенной на ободъ. Въ такомъ случаѣ поступательное движеніе паровоза можно разсматривать какъ сумму (интеграль) бесконечно малыхъ вращеній центровъ ведущихъ колесъ около мгновенныхъ осей вращенія, проходящихъ черезъ точки касанія колесъ съ рельсами. Движущей силой въ этомъ случаѣ явится сила, приложенная параллельно направленію движенія къ центрамъ ведущихъ колесъ и равная индикаторной силѣ тяги, перенесенной на ободъ колесъ (см. рис. 2). Эту силу тяги принято называть *касательной*. Такъ какъ при перенесеніи индикаторной силы тяги на ободъ ведущихъ колесъ приходится преодолѣвать вредныя сопротивленія механизма въ видѣ тренія поршней цилиндровъ, тренія сочлененій шатуновъ, золотниковъ, механизма кулисы, шеекъ ведущихъ осей и пр., то касательная сила тяги всегда меньше индикаторной. При передачѣ касательной силы тяги на упряжной крюкъ тендера также происходитъ потеря усилій на внѣшнее сопротивленіе паровоза движенію (сопротивленіе воздуха) и на сопротивленіе движенію самого тендера. Такимъ образомъ на крюкъ получается сила тяги меньшая касательной. Этотъ видъ силы тяги принято называть силой тяги на

крюкъ или полезной силой тяги,*) какъ непосредственно идущей на преодоленіе сопротивленія движенію самого поѣзда. Если при вычисленіи сопротивленія поѣзда движенію принимать въ расчетъ и сопротивленіе самого паровоза, куда входятъ всѣ упомянутыя внутреннія сопротивленія его механизма и внѣшнія сопротивленія движенію, то необходимо и достаточно при опредѣленіи скоростей и составовъ разсматривать только индикаторную силу тяги или индикаторную работу.

Индикаторная сила тяги, какъ извѣстно, для паровозовъ однократнаго расширенія можетъ быть выражена:

$$Z = \frac{d^2 h}{D} p_i,$$

а для паровозовъ Compound:

$$Z = \frac{d_1^2 h}{2 D} p'_i,$$

гдѣ Z — индикаторная сила тяги,

d — діаметръ цилиндровъ однократнаго расширенія,

d_1 — діаметръ цилиндра низкаго давленія (большаго цилиндра) паровозовъ compound,

h — ходъ поршня,

D — діаметръ ведущихъ колесъ,

p_i — среднее индикаторное давленіе въ цилиндрахъ однократнаго расширенія,

p'_i — среднее индикаторное давленіе для обоихъ цилиндровъ паровозовъ compound.

Для даннаго паровоза величины d , h , D — постоянныя.

*) Полезную силу тяги называютъ также динамометрической, какъ измѣряемой динамометромъ, прикрѣпленнымъ къ крюку тендера.

Среднее индикаторное давление зависит от предельнаго давления въ котлѣ p_0 и отсѣчки цилиндровъ ε . При установившемся движеніи паровоза необходимо существованіе строгой зависимости между отсѣчкой ε и скоростью движенія v , дабы существовало постоянное равенство между приходомъ пара изъ котла и расходомъ его цилиндрами. Нѣмецкій инженеръ Leitzmann на основаніи обширнѣйшихъ опытовъ нашелъ для установившагося движенія, что среднее индикаторное давление p_i можетъ быть выражено:

$$p_i = (p_0 + 1) \left(a - \frac{b}{\varepsilon} + \frac{c}{\varepsilon^2} \right)$$

гдѣ a , b и c — постоянные параметры для даннаго паровоза.

Зависимость между отсѣчкой ε и скоростью v , какъ будетъ показано ниже, всегда можетъ быть выражена въ видѣ:

$$\varepsilon v = \frac{Hk}{1000 u \gamma},$$

гдѣ H — поверхность нагрѣва $- mt^2$, k — напряженность поверхности нагрѣва $-\frac{kgm}{mt^2}$, $u = \frac{d^2 h}{D}$, γ — вѣсъ пара котлового давления

$$\frac{kgm}{mt^2}.$$

Такимъ образомъ, при установившемся движеніи, среднее индикаторное давление можетъ быть выражено въ зависимости отъ скорости движенія v и напряженности поверхности нагрѣва k , такъ какъ всѣ остальные величины, входящія въ выраженіе средняго индикаторнаго давления, являются постоянными для даннаго паровоза.

Поэтому и индикаторная сила тяги для даннаго паровоза всегда можетъ быть выражена въ зависимости только отъ двухъ величинъ: v и k , при установившемся движеніи. Что касается напряженности поверхности нагрѣва k , т. е. паропро-

изводительности котла съ кв. метра поверхности нагрѣва, то при установившемся движеніи таковая должна быть постоянной, достигая предѣльныхъ значений, возможныхъ для данного паровознаго котла.

Въ такомъ случаѣ, индикаторная сила тяги для данного паровоза при установившемся движеніи зависитъ только отъ скорости движенія. Обширные опыты Leitzmann'a подтверждаютъ это несомнѣннымъ образомъ. Итакъ, можно принять, что $Z = \varphi(v)$. Такъ-какъ паровозъ представляетъ движущуюся машину вслѣдствіе силы сцепленія ведущихъ колесъ съ рельсами, то значеніе индикаторной силы тяги при малыхъ скоростяхъ можетъ превзойти реакцію сцепленія рельсъ въ точкахъ касанія, и тогда наступаетъ боксованіе ведущихъ колесъ, и индикаторная работа будетъ расходоваться на преодоленіе работы тренія при скольженіи колесъ по рельсамъ, а не на поступательное движеніе паровоза и поѣзда. Такимъ образомъ, для высшихъ значеній индикаторной силы тяги существуетъ предѣлъ—наибольшая реакція сцепленія колесъ съ рельсами. Этотъ предѣлъ принято называть сцепной силой тяги. Сцепная сила тяги, представляющая наибольшую реакцію сцепленія рельсъ, выражается произведеніемъ сцепнаго вѣса на коэффициентъ сцепленія.

При высокихъ скоростяхъ, когда индикаторная сила тяги получаетъ наименьшее значеніе, то при недостаточныхъ размѣрахъ паровпускныхъ оконъ можетъ случиться, что паденіе индикаторной силы тяги будетъ съ извѣстнаго момента гораздо быстрѣе, чѣмъ слѣдуетъ, такъ какъ за каждый ходъ поршня въ цилиндръ не будутъ поступать должныя количества пара вслѣдствіе малаго размѣра паровпускныхъ оконъ. Это обстоятельство можетъ служить также ограничивающимъ предѣломъ индикаторной силы тяги при большихъ скоростяхъ.

Приведенное общее понятіе о силѣ тяги обнимаетъ всю работу паровоза въ зависимости отъ размѣровъ цилиндровъ,

соотношеній хода поршня къ діаметру ведущихъ колесъ, предѣльнаго давленія въ котлѣ, поверхности нагрѣва котла, паропроизводительности котла съ кв. единицы поверхности нагрѣва, скорости движенія, отсѣчки и пр.

До сихъ поръ еще принято различать такъ называемое усиліе тяги по паропроизводительности котла, выражаемое обычно приближенной формулой Франка:

$$Z = \frac{270 (a + b \sqrt{v})}{v},$$

$$\text{или } Z = \frac{270 b}{\sqrt{v}}$$

Изъ сказаннаго ясно, что нѣтъ необходимости прибѣгать къ этому условному виду силы тяги, почему въ повѣйшихъ работахъ и курсахъ по паровозному дѣлу совершенно не встрѣчается подобнаго термина.

Напряженность поверхности нагрѣва.

При одной и той же напряженности топки, т. е. сгорания одного и того же количества топлива на квадратномъ метрѣ рѣшетки въ единицу времени, парообразовательная способность котла съ квадратной единицы поверхности нагрѣва въ единицу времени должна быть также величиной постоянной, если общій коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла сохраняетъ постоянное значеніе. При установившемся движеніи, расходъ пара котломъ а, слѣдовательно, и расходъ отработавшаго пара въ трубу паровоза черезъ конусъ могутъ быть приняты какъ величины постоянныя. При постоянномъ же расходѣ отработавшаго пара черезъ конусъ въ дымовую трубу, и разрѣженіе (вакуумъ) въ дымовой коробкѣ сохраняетъ болѣе или менѣе постоянное значеніе. Какъ результатъ возможнаго постоянства вакуума въ дымовой

коробкѣ, и тяга воздуха при горѣніи получаетъ постоянное значеніе. Интенсивность же горѣнія, или напряженность топки, при постоянной тягѣ воздуха также должна быть постоянной.

Коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла, какъ извѣстно, для даннаго паровоза зависитъ только отъ напряженности горѣнія, уменьшаясь съ увеличеніемъ послѣдней.

Такимъ образомъ, постоянство напряженности поверхности нагрѣва обусловливаетъ постоянство и напряженности топки, каковая выражается въ равномерномъ и опредѣленномъ подбрасываніи топлива въ топку при данныхъ условіяхъ движенія. Поэтому, съ теоретической точки зрѣнія необходимо допустить при установившемся движеніи постоянство напряженности поверхности нагрѣва. Опыты Leitzmann'a полностью подтверждаютъ эти выводы, почему и, при выводѣ выраженія индикаторной силы тяги, Leitzmann'омъ въ основу было положено, что паровозъ работаетъ съ одинаковой напряженностью поверхности нагрѣва. Такъ какъ, очевидно, каждая паровая машина должна быть эксплуатируема такъ, чтобы съ нея получалась наибольшая работа, то и напряженность поверхности нагрѣва при работѣ паровозовъ должна быть наибольшей, возможной для даннаго типа котла, къ чему и сводятся всѣ старанія на практикѣ въ этомъ направленіи.

Индикаторная работа и сила тяги (по Leitzmann'у).

Индикаторная сила тяги Z для compound паровозовъ можетъ быть выражена:

$$Z = \frac{d_1^2 h}{2 D} p_i 100^2,$$

гдѣ d_1 , — діаметръ большого цилиндра— mt ,

h — ходъ поршня— mt ,

D — діаметръ ведущихъ колесъ— mt ,

p_i — среднее индикаторное давленіе въ *atm.* или

$$\frac{klgr}{qcm^2}. \text{ Обозначимъ } \frac{d_i^2 h}{2 D} = u_1.$$

Предполагая, что котель всегда долженъ работать съ наибольшимъ напряженіемъ, каковое положимъ въ k килограм. пара съ mt^2 поверхности нагрѣва H въ часъ, то общее количество пара въ часъ опредѣлимъ, какъ Hk килогр. Это количество пара должно равняться расходу пара въ часъ. Расходъ же пара въ часъ при отсѣчкѣ ε , вѣсѣ m^3 пара котлового давленія γ и числѣ оборотовъ n въ секунду, если пренебречь вреднымъ пространствомъ цилиндра, что можно допустить влѣдствіе большого сжатія (предваренія впуска), выразится:

$$M = 2 \frac{\pi d_{ii}^2}{4} h \varepsilon \gamma n \cdot 60.60,$$

гдѣ d_{ii} — діаметръ малаго цилиндра,

n — число оборотовъ колесъ въ секунду.

При скорости поѣзда $v \frac{km}{h}$:

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi D \cdot 60.60} \text{ и}$$

$$M = 1000 \frac{d_{ii}^2 h}{2 D} \varepsilon \gamma v.$$

$$\text{Называя } \frac{d_{ii}^2 h}{2 D} = u_{ii},$$

получимъ:

$$M = 1000 u_{ii} \varepsilon \gamma v = Hk,$$

$\varepsilon v = \frac{Hk}{1000 u_{ii} \gamma} = \alpha$ — величина постоянная для даннаго пар
воза при установившемся движеніи.

Итакъ $Z = 100^2 u, p_i$.

Среднее индикаторное давление p_i , какъ сказано выше, можетъ быть выражено на основаніи опытовъ Leitzmann'a, *) въ слѣдующемъ видѣ:

$$p_i = \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\varepsilon} + \frac{c}{\varepsilon^2} \right), \text{ гдѣ } \varepsilon \text{ — отсѣчка цилиндровъ въ до-}$$

ляхъ хода поршня, или,

$$p_i = \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\alpha} v + \frac{c}{\alpha^2} v^2 \right), p_0 \text{ — манометрическое давление въ}$$

котлѣ,

$$\text{и } Z = 100^2 u, \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\alpha} v + \frac{c}{\alpha^2} v^2 \right).$$

Коэффициенты a, b и c находятся опытнымъ путемъ изъ индикаторныхъ діаграммъ, снятыхъ съ даннаго паровоза при разныхъ скоростяхъ и отсѣчкахъ.

Такимъ образомъ индикаторная сила тяги можетъ быть представлена въ видѣ:

$$Z = A - Bv + Cv^2,$$

гдѣ A, B и C , — численные коэффициенты, постоянные для даннаго паровоза. Очевидно, кривая Z представить изъ себя параболу. Minimum Z найдемъ, взявъ первую производную отъ Z по v и приравнявъ нулю:

$$\frac{dZ}{dv} = 0; -B + 2Cv = 0,$$

$$\text{откуда } v = \frac{B}{2C}.$$

Индикаторная работа N выразится:

$$N = (A - Bv + Cv^2) \frac{v}{270}.$$

*) Подъ опытами Leitzmann'a мы разумѣемъ обширные опыты надъ прусскими нормальными паровозами, проведенныя въ началѣ 90-хъ годовъ. Большая часть этихъ опытовъ обработана и опубликована Leitzmann'омъ въ Verhandlungen des Vereines zur Beförderung des Gewerbeeisses за 1895—1901 г. и др. журналахъ. Другая часть этихъ опытовъ обработана von Borviess'омъ и помѣщена въ сочиненіи: Eisenbahn-Technik der Gegenwart Blum, v. Borries & Barkhausen.

Уравнение такого вида представить кривую третьяго порядка, именно, кубическую параболу (параболу Нейля). Видъ кривыхъ силы тяги Z и индикаторной работы N представленъ на рисункѣ 3.

Чтобы найти тѣ значенія скорости, при которыхъ индикаторная работа имѣетъ maximum, беремъ производную отъ N по v и приравниваемъ нулю:

$$\frac{dN}{dv} = 0,$$

$$A - 2 Bv + 3 Cv^2 = 0,$$

$$\text{Откуда } v = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C}.$$

Для скорости v получаются два значенія: одно даетъ maximum N , а другое minimum, соответственно характерному перегибу кубической параболы (Рис. 4).

Такъ какъ общая производительность котла Hk при установившемся движеніи — величина постоянная, то расходъ пара на индикаторную лошадиную силу q выразится:

$$q = \frac{Hk}{N} = \frac{Hk \cdot 270}{(A - Bv + Cv^2) v}.$$

Наименьшій расходъ пара получимъ при той скорости, при какой индикаторная работа N имѣетъ maximum, т. е.

при $v = \frac{B - \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C}$. Это значеніе скорости, дающее

наименьшій расходъ пара на лошадиную силу, будемъ называть критической скоростью. Такъ какъ коэффициенты A , B и C для даннаго паровоза при установившемся движеніи имѣютъ вполнѣ определенное значеніе, то и критическая скорость при тѣхъ же условіяхъ имѣетъ вполнѣ определенное значеніе, для даннаго типа паровоза.

Такимъ образомъ, въ предѣлахъ значений скорости установившагося движенія отъ $v=0$ до $v = \frac{B - \sqrt{B^2 - 3AC}}{3c} =$ критической скорости, индикаторная сила тяги паровоза Z можетъ быть выражена:

$$Z = A - Bv + Cv^2$$

индикаторная работа N :

$$N = (A - Bv + Cv^2) \frac{v}{270}$$

и расходъ пара на индикаторную лошадиную силу q :

$$q = \frac{270 Hk}{Av - Bv^2 + Cv^3}$$

Для паровозовъ съ однократнымъ расширеніемъ пара индикаторная сила тяги и работа могутъ быть выражены подобнымъ же образомъ:

$$Z = \frac{d^2 h}{D} p_i 100^2,$$

$$Z = 100^2 u p_i,$$

$$\text{гдѣ } u = \frac{d^2 h}{D},$$

$$\varepsilon v = \frac{Hk}{1000 u \gamma} = \alpha,$$

$$p_i = \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\alpha} v + \frac{c}{\alpha^2} v^2 \right)$$

$$\text{и } Z = A - Bv + Cv^2,$$

$$N = (A - Bv + Cv^2) \frac{v}{270}.$$

Итакъ, выходя изъ предположенія, что котель все время работаетъ съ наибольшимъ напряженіемъ поверхности нагрѣва (кв. метръ поверхности нагрѣва испаряетъ Hk килограммовъ пара въ часъ, гдѣ k — maximum для даннаго паровоза при данномъ топливѣ), мы нашли, что индикаторная сила тяги можетъ быть всегда выражена въ видѣ нѣкоторой функціи отъ v всегда опредѣленнаго вида: $Z=A - Bv + Cv^2$.

а индикаторная работа въ видѣ:

$$N = (Av - Bv^2 + Cv^3) \frac{1}{270}.$$

Идея выразить силу тяги Z , какъ функцію скорости v , имѣетъ серьезное основаніе, такъ какъ сопротивленіе поѣзда движенію W , на преодоленіе котораго тратится работа силы тяги, также выражается въ функціи того же самаго вида, но, конечно, съ постоянными коэффициентами другого значенія:

$$W = \alpha + \beta v + \gamma v^2.$$

Такъ какъ, при установившемся движеніи паровоза, всегда должно существовать равенство силы тяги паровоза и сопротивленія поѣзда движенію, то также можно заключить, что и въ общей формулѣ, выражающей величину силы тяги въ зависимости отъ скорости v , должны быть члены съ первой и второй степенью скорости v . Съ другой стороны, какъ общеизвѣстное явленіе, сила тяги падаетъ съ увеличеніемъ скорости (сравните, напр., формулу Франка для $Z = \frac{C}{V \frac{v}{v}}$. Слѣдовательно, одинъ изъ членовъ, зависящихъ отъ v въ формулѣ для Z , долженъ быть отрицателенъ для того, чтобы съ увеличеніемъ скорости вліяніе этого члена уменьшало значеніе силы тяги Z соответствующимъ образомъ. Такимъ образомъ, а priori, можно сказать, что индикаторная сила тяги Z должна выразиться функціей какого-либо вида:

$$\text{или } Z = A - Bv + Cv^2,$$

$$\text{или } Z=A'+B'v - C'v^2,$$

$$\text{или } Z=A''-B''v-C''v^2.$$

Все эти функции представляют параболы, пересекающія ось Z при $v=0$ и

$$Z=A, A', A'',$$

а перегибы этихъ параболъ, дающіе maximum или minimum r , лежатъ въ разныхъ точкахъ. Такъ какъ при скорости $r=0$ все значенія для Z должны представлять статическое значеніе силы тяги, то члены A , A' и A'' должны быть равны. Значенія скорости v , дающія перегибы параболъ, опредѣляются изъ условія, что $Z=\text{minimum}$,

$$\text{т. е. } \frac{dZ}{dv} = 0,$$

$$\text{откуда } v_1 = v \frac{B}{2C},$$

$$v_2 = \frac{B'}{2C'} \text{ и}$$

$$v_3 = \frac{B''}{2C''}.$$

Кромѣ того $Z=0$:

$$\text{при } v_1 = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 4AC}}{2C},$$

$$\text{при } v_2 = \frac{-B \pm \sqrt{B^2 + 4AC}}{2C},$$

$$\text{при } v_3 = \frac{B \pm \sqrt{B^2 + 4AC}}{2C}.$$

Изъ приведенныхъ значеній v для всехъ видовъ функций, при которыхъ Z обращается въ нуль, видно, что только первый видъ функций, при условіи $B^2 < 4AC$, даетъ мнимый корень, а остальные виды функций всегда даютъ значенія v ,

обращающія Z въ нуль. Такъ какъ сила тяги паровоза ни при какихъ конечныхъ скоростяхъ не можетъ равняться нулю, а обращается въ нуль при $v = \infty$, то изъ всѣхъ приведенныхъ видовъ функцій можно остановиться только на первомъ видѣ функціи:

$$\text{т. е.: } Z = A - Bv + Cv^2,$$

если, какъ сказано выше, признать необходимымъ выразить индикаторную силу тяги формулой, заключающей члены съ такими же степенями v , какъ и въ формулѣ для сопротивленія поѣзда. Нѣмецкій инженеръ Leitzmann, производившій въ 90 годахъ обширнѣйшіе опыты надъ нормальными паровозами Прусскихъ дорогъ, на основаніи громаднаго числа индикаторныхъ діаграммъ (около 2000) нашелъ наиболѣе цѣлесообразнымъ и примѣнимымъ къ дѣйствительности подобное выраженіе индикаторной силы тяги,

$$\text{т. е.: } Z = A - Bv + Cv^2.$$

Изъ всей серіи его обширнѣйшихъ опытовъ оказалось, что результаты, вычисленные по вышеприведенной формулѣ, нигдѣ не расходились съ дѣйствительными болѣе, чѣмъ на $\frac{2}{100}$; а въ среднемъ были ниже $1\frac{0}{100}$. Поэтому во всѣхъ нашихъ расчетахъ мы считали необходимымъ преимущественно пользоваться такого вида выраженіемъ индикаторной силы тяги и работы паровоза, конечно, въ тѣхъ предѣлахъ значенія скорости v , при которыхъ формулы Leitzmann'a примѣнимы.

Если такимъ образомъ индикаторная сила тяги Z можетъ быть выражена какъ: $Z = A - Bv + Cv^2$, то и среднее индикаторное давленіе, прямо пропорціональное силѣ тяги, должно выражаться,

$$\text{какъ } p_i = a_0 (a_1 - b_1 v + c_1 v^2)$$

или, какъ ранѣе было найдено,

$$p_i = \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\alpha} v + \frac{c}{\alpha^2} v^2 \right),$$

$$\text{гдѣ } \alpha = \frac{Hk}{1000 u_{II} \gamma}.$$

Выводя формулу Leitzmann'a для индикаторной силы тяги и работы, мы предполагали, что котель паровоза работает съ наибольшимъ напряженіемъ поверхности нагрѣва, возможнымъ для даннаго паровоза при данномъ топливѣ, и нашли при этомъ, что наибольшая работа паровоза получится при скорости $v = \frac{B - \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C}$, дающей первый перегибъ кубической параболы.

Такая скорость, дающая наибольшую работу, для товарныхъ поѣздовъ послѣднихъ конструкций обычно находится въ предѣлахъ 30—40 километровъ въ часъ, для обыкновенныхъ пассажирскихъ паровозовъ въ предѣлахъ 40—50 километровъ. Очевидно, для этого значенія скорости v , т. е. $v = \frac{B - \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C}$, расходъ пара на индикаторную лошадиную силу въ часъ будетъ наименьшій.

Дѣйствительно, мы предполагали при выводѣ формулы Leitzmann'a, что расходъ пара все время одинаковъ и равенъ наибольшему количеству пара, которое можетъ дать котель, т. е., Hk кил. Но индикаторная работа возрастаетъ отъ 0 до N max. при $v = \frac{B - \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C}$ критической скорости. Слѣдовательно, при этомъ значеніи v расходъ пара на 1 лошадиную силу будетъ минимумъ. При дальнѣйшемъ увеличеніи скорости, когда уже нельзя пользоваться формулой Leitzmann'a, для опредѣленія теоретическимъ путемъ индикаторной работы и силы тяги приходится руководствоваться данными опытовъ. Всѣ опыты, производившіеся въ этомъ направленіи надъ паровозами, указываютъ, что для каждаго паровоза существуетъ критическая скорость, послѣ которой индикаторная работа уже не увеличивается, и приходится при желаніи уве-

28101

личить работу паровоза увеличивать отсѣчку, что влечетъ за собой большую напряженность поверхности нагрѣва котла. Но пользоваться ббльшей напряженностью поверхности нагрѣва котла при установившемся движеніи нельзя, такъ какъ тогда уже становятся возможны случаи прорыва тягой воздуха слоя топлива, лежащаго на рѣшеткѣ, а слѣдовательно и быстрое паденіе паропроизводительности котла. Поэтому, хотя и возможно всегда на короткое время при увеличеніи отсѣчки и форсированной тягѣ воздуха достигнуть ббльшей индикаторной работы при скоростяхъ высшихъ, чѣмъ критическая, но такіа необычныя явленія въ расчетъ входить не могутъ. Для установившагося движенія, мы должны принимать что при высшихъ скоростяхъ парообразование котла остается одно и тоже (Hk). Но такъ какъ расходъ пара на индикаторную лошадиную силу далѣе критической скорости будетъ возрастать, т. е. каждый килограммъ пара, поступившій въ цилиндры, будетъ давать все меньшую и меньшую индикаторную работу, то и общая величина индикаторной работы будетъ падать. (См. *Карташова стр. 261 и 262*). Расходъ пара на лошадиную индикаторную силу при разныхъ скоростяхъ для compound паровозовъ былъ приведенъ выше изъ опытовъ Borries'a и Quegreau. Полагая же расходъ пара въ часъ на 1 Hp

$$\text{какъ } q = a(v - b)^2 + c,$$

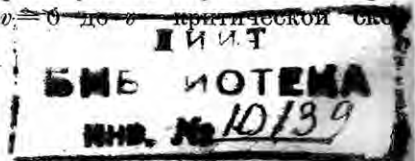
индикаторную работу при скоростяхъ, высшихъ критической, получимъ въ видѣ:

$$N = \frac{Hk}{a(v - b)^2 + c},$$

$$\text{гдѣ } c = \frac{Hk \cdot 270}{(Av - Bv^2 + Cv^3) \text{ max.}}$$

Численныя величины a и b должны быть найдены опытнымъ путемъ для даннаго типа паровозовъ.

Такимъ образомъ индикаторная работа паровоза въ предѣлахъ значеній скорости отъ $v_0 = 0$ до v критической сле-



рости можетъ быть выражена кривой, подчиняющейся уравненію $N = (Av - Bv^2 + Cv^3) \frac{1}{270}$, т. е. кубической параболой, а для значений скорости, превышающихъ критическую, — кривой, подчиняющейся уравненію $N = \frac{Hk}{f(v)} = a \frac{Hk}{(v-b)^2 + c}$ (рис. 5).

Соотвѣтственнымъ образомъ, и индикаторная сила тяги можетъ быть выражена, въ первыхъ предѣлахъ значений скорости, кривой, подчиняющейся уравненію $Z = A - Bv + Cv^2$, т. е. параболой, а для скоростей, превышающихъ критическую, кривой, имѣющей уравненіе $Z = \frac{270 Hk}{v [a(v-b)^2 + c]}$ (рис. 6).

Что индикаторная работа и сила тяги выражается двумя разными кривыми по обѣ стороны отъ оси, соотвѣтствующей критической скорости, становится болѣе понятнымъ, если обратить вниманіе на сущность причинъ, вызывающихъ это явленіе: при установившемся движеніи поѣзда, общій расходъ пара паровозомъ является величиной постоянной, расходъ же пара на индикаторную силу повышается въ обѣ стороны отъ критической скорости и притомъ, при меньшихъ скоростяхъ вслѣдствіе большихъ наполненій и меньшей работы пара расширеніемъ, а при высшихъ скоростяхъ — вслѣдствіе болѣе влажной пара, уменьшенія всаснаго давления и болѣе потери на треніе. По характеру обѣ категории причинъ совершенно разны, и законы измѣненія ихъ также разны. Поэтому, и результаты этихъ причинъ, измѣненіе величинъ индикаторной работы и силы тяги при одномъ и томъ же общемъ расходѣ пара, имѣютъ разные законы по обѣ стороны отъ критической скорости.

Расходъ пара на лошадиную силу въ предѣлахъ значений скорости отъ нуля до критической, можетъ быть опредѣленъ по формулѣ Leitzmann'a въ видѣ:

$$q = \frac{270 Hk}{Av - Bv^2 + Cv^3}$$

Расходы пара, вычисленные по этой формулѣ, какъ по-
казали опыты Leitzmann'a, очень хорошо сходятся съ дѣйстви-
тельными расходами полученными опытно.

Законъ измѣненія расхода пара на лошадиную сил
(индикаторную или полезную) при скоростяхъ, вышихъ кри-
тической, можетъ быть охарактеризованъ, на основаніи опы-
товъ различныхъ изслѣдователей, въ нижеслѣдующей таблицѣ:

Скорость $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	Расходъ пара въ кило- граммахъ на 1 полезную лошадь.			Скорость $\frac{\text{миль}}{\text{часъ}}$	Расходъ угля на индика- торную лошадь въ фунтахъ.		
	о т с ъ ч к а				0,25	0,33	0,40
10	9,80	—	—	15	4,45	4,19	—
20	8,80	—	—	25	4,19	4,45	5,08
30	8,40	9,20	—	35	4,18	4,54	6,32
40	8,60	8,60	—	45	4,33	5,60	—
50	—	8,48	10	55	5,12	6,03	—
60	—	8,61	10,3	—	—	—	—
70	—	8,81	10,7	—	—	—	—
80	—	9,33	11,4	—	—	—	—
90	—	10,27	12,6	—	—	—	—
	Товарный паровозъ compound прусскихъ ж. д.	Lochner курьерскіе паровозы compound			Лабораторные опыты Goss'a въ университетѣ Purdue.		

При низшихъ значеніяхъ скорости предѣломъ индикатор-
ной силы тяги является сила сцѣпленія ведущихъ колесъ съ

рельсами. Этот предѣлъ значенія силы тяги принято называть сцепной силой тяги. Величина ея измѣряется нагрузкой на ведущія оси, помноженной на коэффициентъ сцепленія ведущихъ колесъ съ рельсами. Значеніе коэффициента сцепленія при нормальныхъ условіяхъ колеблется отъ $\frac{1}{4}$ до $\frac{1}{8}$ въ зависимости отъ степени чистоты и сухости рельсъ. Такимъ образомъ, сила тяги паровоза графически выразится тремя линиями: одной прямой и двумя кривыми (рис. 7). Нанося кривыя сопротивленія поѣзда движенію, получимъ въ точкахъ пересѣченія соответствующую скорость для даннаго вѣса или состава поѣзда. Откладывая полученныя такимъ образомъ скорости по оси абсциссъ, а вѣсъ или составъ поѣзда по оси ординатъ, получимъ искомую зависимость между скоростью и составомъ или вѣсомъ поѣзда для даннаго эквивалентнаго подъема участка дороги.

Нахождение наивыгоднѣйшей скорости, дающей наименьшій расходъ пара и топлива на единицу работы поѣзда.

Ранѣе мы нашли, что индикаторная работа можетъ быть выражена:

$$N = (Av - Bv^2 + Cv^3) \frac{1}{270}$$

для v въ предѣлахъ отъ нуля до v_0 = критической скорости. Расходъ пара на 1 лошадиную силу въ часъ. q тогда выразится:

$$q = \frac{270 Hk}{Av - Bv^2 + Cv^3},$$

$$\text{или } q = \frac{M}{Av - Bv^2 + Cv^3},$$

$$\text{гдѣ } M = 270Hk.$$

Если предположить, что сопротивленіе движенію поѣзда можетъ быть выражено

$$[\alpha + \beta v + \gamma v^2] Q,$$

гдѣ Q — вѣсъ всего поѣзда, паровоза и вагоновъ,

α —общее сопротивление,—постоянное и отъ эквивалентнаго подъема,

то механическое значеніе тонно-километра (не вагоно-километра), въ килограммахъ пара можетъ быть выражено:

$$p = \frac{(Av - Bv^2 + Cv^3) Hk}{Qv (Av - Bv^2 + Cv^3)}$$

$$\text{и } p = \frac{Hk}{Qv}.$$

А такъ какъ Hk —величина постоянная для даннаго паровоза, то minimum p будетъ при значеніи Qv —maximum.

Предположимъ для простоты вывода, что индикаторную работу можно выразить приблизительно по формулѣ Франка:
 $N = b \sqrt{v}$

Тогда $(\alpha + \beta v + \gamma v^2) Qv = b \sqrt{v}$ и

$$Qv = \frac{b \sqrt{v}}{\alpha + \beta v + \gamma v^2}.$$

Значеніе v , обращающее Qv въ maximum, получимъ, взявъ производную отъ (Qv) по v и приравнявъ нулю:

$$\frac{d(Qv)}{dv} = 0; \frac{1}{2} \frac{b}{\sqrt{v}} (\alpha + \beta v + \gamma v^2) - b \sqrt{v} (\beta + 2\gamma v) = 0,$$

откуда:

$$\alpha + \beta v + \gamma v^2 = 2\beta v + 4\gamma v^2,$$

$$3\gamma v^2 + \beta v - \alpha = 0,$$

$$v^2 + \frac{\beta}{3\gamma} v - \frac{\alpha}{3\gamma} = 0,$$

$$v = -\frac{\beta}{6\gamma} \pm \sqrt{\left(\frac{\beta}{6\gamma}\right)^2 + \frac{\alpha}{3\gamma}}.$$

Очевидно, изъ двухъ корней уравненія нужно взять корень съ знакомъ $+$, такъ какъ $\sqrt{\left(\frac{\beta}{6\gamma}\right)^2 + \frac{\alpha}{3\gamma}}$ всегда $> \frac{\beta}{6\gamma}$

а значеніе v по бмыслу должно быть всегда положительно.

$$\text{Поэтому } v = -\frac{\beta}{6\gamma} + \sqrt{\left(\frac{\beta}{6\gamma}\right)^2 + \frac{\alpha}{3\gamma}}, \text{ или, обозначая } \frac{\beta}{6\gamma}$$

через m ,

$$v = -m + \sqrt{m^2 + \frac{1}{3\gamma}(\alpha_0 + i)}$$

Это уравненіе, опредѣляющее скорость v для тах. Qv , имѣетъ весьма важное значеніе, и мы остановимся на немъ подробно. Такъ какъ β и γ постоянные численные коэффициенты, а α представляетъ сумму двухъ членовъ, постояннаго сопротивленія (мертваго) и эквивалентнаго подъема i , то, очевидно, чѣмъ болѣе подъемъ, тѣмъ выгоднѣе примѣнять высшія скорости при движеніи товарныхъ поѣздовъ, чтобы затратить на каждый тоннокилометръ, а слѣдовательно и и вагоно-единице-километръ, возможно меньшее количество механической энергіи. А такъ какъ высшія скорости получаютъ за счетъ уменьшенія состава, то очевидно на участкахъ дорогъ, имѣющихъ тяжелый профиль съ большими подъемами, для одного и того же типа паровоза необходимо, уменьшая составъ, примѣнять скорости *гораздо большія чѣмъ* на легкихъ участкахъ, гдѣ выгоднѣе возить большіе составы съ малыми скоростями. Къ тому же самому закону, который мы вывели изъ формулъ можно притти а priori путемъ слѣдующихъ разсужденій. Если, напримѣръ, взять сопротивленіе движенію поѣзда по формулѣ нѣмецкихъ инженеровъ $w = 2,4 + 0,001v^2 + i$, то для десяти тысячнаго подъема сопротивление выразится при среднихъ скоростяхъ до 20 километровъ $w = 2,4 + 0,400 + 10 = 12,4 + 0,4 = 12,8 \frac{kg}{ton}$. Слѣдовательно, изъ всего сопротивленія въ 12,8 килогр. на тонну только $\frac{0,4}{12,8}$, т. е. $\frac{1}{32}$ часть обусловлена скоростью, а остальныхъ $\frac{31}{32}$ сопротивленія отъ нея не зависятъ. Поэтому понятно, что это сопротивленіе необходимо преодолевать при тѣхъ усло-

віяхъ работы паровоза, при которыхъ онъ работаетъ наибольшѣ экономно, затрачивая на 1 лошадиную силу наименьшее количество пара и угля, т. е. при скоростяхъ близкихъ къ критической, которая для товарныхъ паровозовъ новѣйшихъ конструкцій, какъ сказано выше, заключается въ предѣлахъ отъ 30 до 40 километровъ въ часъ. На площадкѣ сопротивленіе поѣзда по той же формулѣ выразится въ килограммахъ на тонну вѣса поѣзда:

$$w = 2,4 + 0,4 = 2,8 \text{ klg.},$$

и часть сопротивленія, зависящая отъ скорости уже составитъ $\frac{0,4}{2,8} = \frac{1}{7}$ всего сопротивленія. Тогда очевидно уже

приходится считаться и съ сопротивленіемъ, зависящимъ отъ скорости, и наивыгоднѣйшая скорость будетъ уже гораздо дальше въ сторону низшихъ ея значеній отъ критической, чѣмъ для десятитысячнаго подъема. Съ другой стороны, если приходится рѣшать вопросъ, какой типъ паровоза примѣнять на тѣхъ или иныхъ участкахъ, то очевидно на участкахъ съ труднымъ профилемъ (большимъ виртуальнымъ коэффициентомъ) необходимо примѣнять тѣ типы, которые имѣютъ большой котель и сравнительно большую поверхность нагрѣва при сравнительно небольшомъ сцѣпномъ вѣсѣ. На легкихъ участкахъ важно возить большіе составы съ меньшей скоростью, и здѣсь необходимо примѣнять типы паровозовъ съ большимъ сцѣпнымъ вѣсомъ и сравнительно меньшей поверхностью нагрѣва. Другими словами для трудныхъ участ-

ковъ паровозы должны имѣть отношеніе $\frac{H}{Q}$ (гдѣ Q , — сцѣпной вѣсъ) большее, чѣмъ для участковъ съ легкимъ профилемъ. Подробно къ этому вопросу мы вернемся ниже. Теперь же укажемъ, что для вывода этого закона эксплуатація паровозовъ мы пользовались приближеннымъ выраженіемъ индикаторной работы по формулѣ Франка $N = b \sqrt{v}$.

Если взять точное выражение индикаторной работы, которое мы нашли раньше по Leitzmann'у, а именно: $N = (Av - Bv^2 + Cv^3) \frac{1}{270}$, то мы придемъ къ тому же самому закону, только болѣе труднымъ путемъ, рѣшая биквадратное уравнение относительно v вида:

$$v^4 + \left[3 \frac{\alpha}{\gamma} - \frac{A}{C} \right] v^2 - 2 \frac{\alpha}{\gamma} \frac{B}{C} v + \frac{\alpha}{\gamma} \frac{A}{C} = 0$$

причемъ коэффициентъ β въ формулѣ сопротивления:

$$\alpha + \beta v + \gamma v^2 + i.$$

взять равнымъ нулю, а $\alpha = \alpha_0 + i$.

Приведенное уравнение получено изъ ур. $\frac{[dQ]}{dv} = 0$,

$$\text{гдѣ } Qv = \frac{Av - Bv^2 + Cv^3}{\alpha + \gamma v^2} \text{ при } \beta = 0$$

и

$$\frac{[dQv]}{dv} = (A - 2Bv + 3Cv^2) \cdot (\alpha + \gamma v^2) - 2\gamma v (Av - Bv^2 + Cv^3) = 0,$$

Изслѣдуя приведенное биквадратное уравнение, замѣчаемъ, что наибольшій отрицательный коэффициентъ находится при первой степени v , именно, $- 2 \frac{\alpha B}{\gamma C}$.

Слѣдовательно, по правилу Ньютона, предѣломъ всѣхъ положительныхъ корней будетъ значеніе $2 \frac{\alpha B}{\gamma C}$. Но такъ какъ этотъ членъ зависитъ въ прямой пропорціональности отъ α (мертвое сопротивление и эквивалентный подъемъ), то можемъ сказать, что съ увеличеніемъ α , возрастаетъ значеніе положительныхъ корней. При α , равной безконечности, уравненіе

$$v^4 + \left(3 \frac{\alpha}{\gamma} - \frac{A}{C} \right) v^2 - 2 \frac{\alpha}{\gamma} \frac{B}{C} v + \frac{\alpha}{\gamma} \frac{A}{C} = 0$$

принимаетъ видъ:

$$\frac{v^4}{\alpha = \infty} + \left(3 \frac{1}{\gamma} - \frac{A}{C\alpha = \infty} \right) v^2 - 2 \frac{1}{\gamma} \frac{B}{C} v + \frac{1}{\gamma} \frac{A}{C} = 0,$$

$$\text{или } 3 \frac{1}{\gamma} v^2 - 2 \frac{1}{\gamma} \frac{B}{C} v + \frac{1}{\gamma} \frac{A}{C} = 0,$$

$$\text{или } v^2 - \frac{2}{3} \frac{B}{C} v + \frac{A}{3C} = 0,$$

$$\text{откуда } v = \frac{B}{3C} \pm \sqrt{\left(\frac{B}{3C} \right)^2 - \frac{A}{3C}},$$

$$\text{или } v = \frac{B \pm \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C},$$

$$Q = \frac{A - Bv + Cv^2}{\alpha + \beta v^2}; Q = 0.$$

Это есть ранѣ полученное нами выраженіе критической скорости. Слѣдовательно въ предѣлѣ при бесконечно большомъ сопротивленіи, не зависящемъ отъ скорости,*) на выгоднѣйшая скорость будетъ совпадать съ критической скоростью, а общій вѣсъ поѣзда равняется нулю. Теперь предположимъ, что $v = 0$, т. е. для движенія поѣзда не надо затрачивать работы паровоза. Тогда уравненіе

$$v^4 + \left[3 \frac{\alpha}{\gamma} - \frac{A}{C} \right] v^2 - 2 \frac{\alpha}{\gamma} \frac{B}{C} v + \frac{\alpha}{\gamma} \frac{A}{C} = 0$$

$$\text{принимаетъ видъ } \frac{\alpha}{\gamma} - \frac{A}{C} = 0.$$

A , C и γ величины постоянныя, слѣдовательно $\alpha = 0$,

$$\text{или } \alpha_0 + i = 0$$

$$\text{и } i = -\alpha_0.$$

$$\text{При этомъ } Q = \frac{A - Bv + Cv^2}{\alpha + \beta v^2} = \frac{A}{\alpha} = \frac{A}{0} = \infty$$

*) При поднятіи по вертикали на выгоднѣйшая скорость будетъ, также совпадать съ критической, такъ какъ въ этомъ случаѣ $Qv = Av - Bv^2 + Cv^3$ и $(Qv) \max = (Av - Bv^2 + Cv^3) \max$.

и $Qv = 0 \cdot \infty$.

Для раскрытія этой неопредѣленности **имѣемъ**

$$\frac{1}{Q} = \frac{\alpha + \beta v^2}{A - Bv + Cv^2}$$

$$\therefore \text{и } Qv = \frac{v}{\frac{\alpha + \beta v^2}{A - Bv + Cv^2}},$$

$$Qv = \frac{dv}{\frac{d}{dv} \left[\frac{\frac{dv}{dv}}{\frac{\alpha + \beta v^2}{A - Bv + Cv^2}} \right]} = \frac{[A - Bv + Cv^2]^2}{2\beta v [A - Bv + Cv^2] - (\alpha + \beta v^2)(2Cv - B)},$$

при $v = 0$ и $\alpha = 0$

это выраженіе обращается въ

$$Qv = \frac{A^2}{0} = \infty.$$

Такимъ образомъ въ предѣлѣ при $v = 0$, а слѣдовательно и нулевой работѣ паровоза, составъ равенъ безконечности, и произведеніе вѣса поѣзда (состава) на скорость въ предѣлѣ обращается тоже въ безконечность. Теперь принимая во вниманіе, что въ уравненіи

$$v^4 - \left[3 \frac{\alpha}{\gamma} - \frac{A}{C} \right] v^2 - 2 \frac{\alpha}{\gamma} \frac{B}{C} v + \frac{\alpha}{\gamma} \frac{A}{C} = 0$$

должно быть соблюдено условіе

$$B^2 > 3AC \text{ и } B^2 < 4AC,$$

и что $Qv = \infty$ при $v = 0$

можно а priori предположить, что геометрическое мѣсто максимум'овъ Qv будетъ нѣкоторая кривая, **пересекающая** ось скоростей v при значеніи v равномъ критической скорости, а при значеніи $v = 0$ подходящая къ оси Qv , какъ къ асимптотѣ.

Такимъ образомъ, найденный законъ можно выразить въ нижеслѣдующей формѣ. Значеніе скорости v , обращающее произведеніе вѣса поѣзда на скорость въ maximum, будетъ искомой наивыгоднѣйшей скоростью для даннаго паровоза и даннаго профиля. Для одного и того же паровоза значеніе этихъ скоростей тѣмъ болѣе, а вѣсъ поѣзда тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе эквивалентный подъемъ (виртуальный коэффициентъ) участка. Въ одномъ предѣлѣ при вертикальномъ подъемѣ наивыгоднѣйшая скорость совпадаетъ съ критической при любомъ вѣсѣ поѣзда. Въ другомъ предѣлѣ, при отрицательномъ подъемѣ, обращающемъ въ формулѣ сопротивленія членъ, не зависящій отъ скорости, въ нуль, а значеніе v тоже въ нуль, вѣсъ поѣзда и произведеніе вѣса на скорость равны безконечности.

Если значенія произведенія вѣса поѣзда (или состава въ вагоно-единицахъ) на скорость (Qv или nv) откладываютъ по оси ординатъ для соответствующихъ скоростей v , отложенныхъ по оси абсциссъ, то мы увидимъ, что перегибы или точки максимума для Qv или nv тѣмъ ближе къ критической скорости, чѣмъ болѣе подъемъ i или вообще чѣмъ больше членъ въ формулѣ сопротивленія, независящій отъ скорости (рис. 8).

Обратно, чѣмъ менѣе подъемъ или вообще членъ, независящій отъ скорости въ формулѣ сопротивленія, тѣмъ далѣе точки перегиба отъ критической скорости и тѣмъ, слѣдовательно, менѣе скорости v , обращающія Qv или nv въ maximum.

Здѣсь необходимо обратить особое вниманіе на особый законъ построенія, которому подчиняются всѣ кривыя, выражающія Qv или nv : всѣ кривыя отъ точекъ перегиба или максимума до пересѣченія съ осью, соответствующей критической скорости, падаютъ сравнительно очень медленно и быстро начинаютъ падать тотчасъ послѣ пересѣченія оси этой осью. Этотъ законъ построенія кривыхъ произведенія скорости на вѣсъ или составъ поѣзда становится само собой

понятнымъ, если вспомнить то выраженіе, которое мы нашли для Qv или nv :

$$Qv = \frac{Av - Bv^2 + Cv^3}{\alpha + \beta v + \gamma v^2}$$

Числитель этой дроби, представляетъ индикаторную работу паровоза въ килограммо-километрахъ
часъ

и, какъ мы вывели ранѣе, возрастаетъ и имѣетъ максимумъ при пѣкоторой критической скорости, вполне опредѣленной для даннаго паровоза.

Знаменателя этой дроби представляетъ сопротивление (въ килограммахъ на тонну) поѣзда движенію и непрерывно возрастаетъ съ увеличеніемъ скорости; такъ какъ максимумъ Qv или nv всегда находится между осью Qv и осью критической скорости, то значеніе Qv послѣ максимума и до критической скорости уменьшается сравнительно не такъ быстро; ибо числитель дроби продолжаетъ возрастать, какъ послѣ пересѣченія оси критической скорости, когда числитель тоже уменьшается, а знаменатель увеличивается.

Если же теперь по оси абсциссъ откладывать вѣсь поѣзда Q или составы n , а по оси ординатъ значенія произведеній вѣса поѣзда на скорость— Qv или состава на скорость nv , то тотъ же законъ выразится въ иной формѣ, а именно: чѣмъ менѣе будетъ подъемъ или значеніе члена, независимаго отъ скорости въ формулѣ сопротивленія, тѣмъ для большихъ составовъ Qv или nv будутъ имѣть максимумъ (рис. 9).

Нетрудно усмотрѣть, что при постепенномъ уменьшеніи члена, независимаго отъ скорости, и превращеній его въ отрицательную величину (при соответствующихъ скатахъ) невыгоднѣйшая скорость уменьшается, а составъ все увеличивается и въ предѣлѣ скорость v равна нулю, а составъ безконечности. Указанный законъ построенія кривыхъ Qv или nv , какъ мы увидимъ ниже, строго обнаруживается въ тѣхъ

частныхъ случаевъ рѣшенія вопроса, которые мы здѣсь приводимъ, вѣ въ зависимости отъ тѣхъ или иныхъ эмпирическихъ формулъ, употребляемыхъ для опредѣленія сопротивленія поѣзда движенію и индикаторной работы паровоза.

Наивыгоднѣйшее значеніе напряженности поверхности нагрѣва к.

При выводѣ условій, дающихъ наименьшій расходъ пара на единицу работы поѣзда,*) мы исходили изъ того основнаго положенія, что паровозъ при установившемся движеніи работаетъ съ нѣкоторой постоянной напряженностью поверхности нагрѣва. Въ этомъ предположеніи мы показали способъ нахождения тѣхъ значеній скорости v и состава n или вѣса поѣзда Q , которыя дадутъ наименьшій расходъ пара на единицу работы поѣзда или, другими словами, обращаютъ въ минимумъ выраженіе $p = \frac{Hk}{Qv}$ или $p = \frac{Hk}{nv}$. Само собою возникаетъ вопросъ, насколько выгодно держаться высшихъ значеній напряженности поверхности нагрѣва. Назовемъ максимальную напряженность поверхности нагрѣва черезъ k_0 . Тогда выраженіе индикаторной силы тяги и работы имѣетъ видъ, какъ мы нашли ранѣе:

$$Z = A - Bv + Cv^2 \quad \text{и}$$

$$N = [Av - Bv^2 + Cv^3] \frac{1}{270}.$$

Если вспомнить способъ полученія въ этихъ формулахъ коэффициентовъ A , B и C , то для любой напряженности

*) Понятіе—единица работы поѣздовъ—опредѣлимъ, какъ произведеніе единицы вѣса поѣзда на единицу пройденнаго разстоянія. Въ этомъ смыслѣ работу поѣздовъ можно измѣрять пудо-верстами или тонно-километрами брутто вѣса поѣздовъ, вагоно-единице-верстами или вагоно-единице-километрами брутто вѣса состава. Подъ понятіемъ напряженности работы поѣзда будемъ разумѣть количество работы поѣзда, выраженное по предыдущему въ тѣхъ или иныхъ единицахъ работы поѣздовъ, въ единицу времени. Такимъ образомъ мы будемъ имѣть полнѣйшую аналогию между приведенными терминами и понятіями: работа и напряженность работы въ строго механическомъ смыслѣ этого слова. Тоже можно сказать о понятіяхъ: поверхность нагрѣва когда и напряженность поверхности нагрѣва.

поверхности нагрѣва k эти выраженія примуть видъ:

$$Z = A - Bk_0 \frac{v}{k} + Ck_0^2 \frac{v^2}{k^2},$$

$$N = \left[Av - Bk_0 \frac{v^2}{k} + Ck_0^2 \frac{v^3}{k^2} \right] \frac{1}{270}.$$

Если воспользоваться формулой сопротивленія для всего поѣзда:

$$W = (\alpha + \beta v + \gamma v^2) Q,$$

или при $\beta = 0$,

$$W = (\alpha + \gamma v^2) Q,$$

то всегда должно существовать уравненіе:

$$A - Bk_0 \frac{v}{k} + Ck_0^2 \frac{v^2}{k^2} = (\alpha + \gamma v^2) Q.$$

Расходъ пара на тоннокилометръ выразится

$$p = \frac{Hk}{Qv}.$$

Принимая вѣсь поѣзда Q постояннымъ, будемъ изслѣдовать законъ измѣненія величины p въ зависимости отъ измѣненія переменныхъ k и v , связанныхъ уравненіемъ

$$A - Bk_0 \frac{v}{k} + Ck_0^2 \frac{v^2}{k^2} = (\alpha + \gamma v^2) Q.$$

Если назвать отношеніе $\frac{v}{k}$ черезъ y , то $p = \frac{H}{Qy}$, т. е расходъ пара на тонно-километръ будетъ измѣняться обратно пропорціонально величинѣ $y = \frac{v}{k}$. Слѣдовательно минимумъ p будетъ тамъ, гдѣ $y = \frac{v}{k}$ будетъ максимумъ. Покажемъ, что y имѣетъ максимумъ.

Пусть $F(y, v) = A - Bk_0 y + Ck_0^2 y^2 - \alpha Q - Q\gamma v^2 = 0$.

Чтобы $y = \frac{v}{k}$ имѣло максимумъ или минимумъ необходимо:

$$\frac{dF(v, y)}{dy} = 0$$

$$\text{и } \frac{dF(v, y)}{dy} \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} 0$$

$$\frac{dF(y, v)}{dv} = -2Q\gamma v = 0$$

$$\text{и } \frac{dF(v, y)}{dy} = -Bk_0 + 2Ck_0^2 y \begin{matrix} < \\ > \end{matrix} 0.$$

Слѣдовательно y имѣетъ максимумъ при $v = 0$. Такъ какъ значеніе уравненія:

$$A - Bk_0 y + Ck_0^2 y^2 - \alpha Q - Q\gamma v^2 = 0,$$

гдѣ $y = \frac{v}{k}$, чрезвычайно важно, то приводимъ подробное изслѣдованіе этого уравненія.

Такъ какъ $Ck_0^2 (-Q\gamma) < 0$, то очевидно, что кривая второго порядка, изображаемая этой функцией, есть гипербола. Чтобы привести уравненіе гиперболы въ такъ называемую каноническую форму, сдѣлаемъ подстановку:

$$y = z + \frac{B}{2Ck_0}$$

г. е. перенесемъ начало координатъ по оси y . Координаты начала новыхъ координатъ очевидно будутъ

$$v = 0, y = \frac{B}{2Ck_0}.$$

Тогда уравненіе

$$A - Bk_0 y + Ck_0^2 y^2 - \alpha Q - Q\gamma v^2 = 0$$

приметь видъ:

$$A - B\kappa_0 \left(z + \frac{B}{2C\kappa_0} \right) + C\kappa_0^2 \left(z + \frac{B}{2C\kappa_0} \right)^2 - \alpha Q - Q\gamma v^2 = 0,$$

$$A - B\kappa_0 z - \frac{B^2}{2C} + C\kappa_0^2 z^2 + B\kappa_0 z + \frac{B^2}{4C} - \alpha Q - Q\gamma v^2 = 0,$$

$$A + C\kappa_0^2 z^2 - \alpha Q - Q\gamma v^2 = \frac{B^2}{4C},$$

$$(\kappa_0 \sqrt{C} z)^2 - (\sqrt{Q\gamma} v)^2 = \frac{1}{4C} [B^2 + 4C(\alpha Q - A)].$$

$$\text{Назовемъ } \frac{1}{4} [B^2 + 4C(\alpha Q - A)] = u.$$

Тогда получимъ уравненіе гиперболы

$$\frac{z^2}{\frac{u}{\kappa_0^2 C}} - \frac{v^2}{\frac{u}{Q\gamma}} = 1,$$

$$\text{или, обозначая } \frac{u}{\kappa_0^2 C} = a^2 \text{ и } \frac{u}{Q\gamma} = b^2,$$

$$\frac{z^2}{a^2} - \frac{v^2}{b^2} = 1.$$

И полуоси гиперболы соотвѣтственно равны a и b .

Уравненіе ассимптотъ очевидно будетъ:

$$(\kappa_0 \sqrt{C} z + \sqrt{Q\gamma} v) (\kappa_0 \sqrt{C} z - \sqrt{Q\gamma} v) = 0$$

Уголъ φ , составляемый ассимптотами съ осью v , очевидно =

$$= \arctg \pm \frac{1}{\kappa_0} \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}}$$

Такимъ образомъ, мы нашли всѣ основные элементы гиперболы. Для того, чтобы уяснить значеніе полученной нами гиперболы, необходимо вернуться къ основному выра-

женію индикаторной силы тяги по Leitzmann'у:

$$Z = A - Bk_0 v + Ck_0^2 v^2$$

для напряженности поверхности нагрѣва

$$k = 1.$$

Для всякой напряженности поверхности нагрѣва k выраженіе будетъ имѣть видъ

$$Z = A - B \frac{k_0}{k} v + \frac{Ck_0^2}{k^2} v^2.$$

Для напряженности поверхности нагрѣва k_0

$$Z = A - Bv + Cv^2.$$

Изображаемая послѣднимъ уравненіемъ парабола, какъ сказано выше, имѣетъ вершину въ точкѣ, координаты

$$\text{которой } v = \frac{B}{2C},$$

$$Z = A - \frac{B^2}{4C},$$

и пересѣкаетъ ось Z при значеніи $Z = A$.

При всякомъ уменьшеніи или увеличеніи напряженности поверхности нагрѣва будетъ получаться рядъ новыхъ параболъ, удовлетворяющихъ общему уравненію:

$$Z = A - B \frac{k_0}{k} v + C \frac{k_0^2}{k^2} v^2$$

и имѣющихъ одну общую для всѣхъ точку пересѣченія съ осью Z . Можно показать, что вершины всѣхъ параболъ будутъ лежать на одной прямой, параллельной оси v и имѣющей уравненіе:

$$Z = A - \frac{B^2}{4C} \quad (\text{см. рис. 10}).$$

Абсциссы же вершинъ v будутъ измѣняться, выражаясь каждый разъ

$$v = \frac{B}{2C} - \frac{k}{k_0}.$$

Въ самомъ дѣлѣ, общее уравненіе любой параболы имѣетъ видъ:

$$Z = A - B \frac{k_0}{k} v + C \frac{k_0^2}{k^2} v^2.$$

Абсцисса вершины, какъ и прежде, найдется изъ уравненія:

$$\begin{aligned} \frac{dZ}{dv} &= 0, \\ -B \frac{k_0}{k} + 2C \frac{k_0^2}{k^2} v &= 0, \\ v &= \frac{B}{2C} - \frac{k}{k_0}. \end{aligned}$$

Подставляя послѣднее значеніе въ общее уравненіе, найдемъ

$$Z = A - \frac{B^2}{4C}.$$

Кривыя сопротивленій, взятыхъ по формулѣ:

$$\begin{aligned} W &= (\alpha + \beta v + \gamma v^2) Q \\ \text{или } W &= (\alpha + \gamma v^2) Q, \end{aligned}$$

будутъ также представлять параболы, имѣющія вершины по оси Z (W) для $Z = \alpha Q$.

Очевидно, всѣ параболическія кривыя сопротивленій, имѣющія вершину на разстояніи отъ оси v

$$Z = \alpha Q > A - \frac{B^2}{4C},$$

во всякомъ случаѣ пересѣкутъ параболическія кривыя силъ

тяги два раза. Параболы сопротивлений, для которыхъ

$$Z = \alpha Q = A - \frac{B^2}{4C}.$$

съ предѣльной кривой силы тяги, совпадающей съ осью Z при $k = 0$, будутъ пересѣкаться въ одной общей точкѣ, вершинѣ, а съ остальными кривыми силы тяги для $k > 0$ будутъ пересѣкаться въ двухъ точкахъ.

Наконецъ кривыя сопротивлений, для которыхъ

$$Z = \alpha Q < A - \frac{B^2}{4C},$$

будутъ пересѣкать только часть параболъ силъ тяги, съ ближайшими же параболоми будутъ имѣть *минимыя* пересѣченія.

Соотвѣтственно этимъ тремъ значеніямъ:

$$\alpha Q > A - \frac{B^2}{4C},$$

$$\alpha Q = A - \frac{B^2}{4C},$$

$$\alpha Q < A - \frac{B^2}{4C},$$

найденное выше общее уравненіе гиперболы, отнесенное къ осямъ, будетъ имѣть видъ:

$$1) \left. \begin{aligned} \frac{z^2}{k_0^2 C} - \frac{v^2}{Q\gamma} = 1 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{для } u = \frac{B^2}{4C} - A + \alpha Q > 0, \\ &\text{при } \alpha Q > A - \frac{B^2}{4C}. \end{aligned}$$

$$2) \left. \begin{aligned} z^2 k_0^2 C - v^2 Q\gamma = 0, \\ (zk_0\sqrt{C} + v\sqrt{Q\gamma})(zk_0\sqrt{C} - v\sqrt{Q\gamma}) = 0 \end{aligned} \right\} \begin{aligned} &\text{при } \alpha Q = A - \frac{B^2}{4C} \\ &\text{и } u = 0. \end{aligned}$$

$$3) \frac{v^2}{Q\gamma} - \frac{z^2}{k_0^2 C} = 1 \quad \left\{ \begin{array}{l} \text{при } \alpha Q < A - \frac{B^2}{4C} \\ \text{и } u < 0. \end{array} \right.$$

1-й случай. Уравнение

$$\frac{z^2}{k_0^2 C} - \frac{v^2}{Q\gamma} = 1$$

представляет гиперболу вида, показанного на рисункѣ 11.

Уравнение асимптотъ, отнесенное къ новымъ осямъ имѣеть видъ:

$$(k_0 \sqrt{C} z + \sqrt{Q\gamma} v) (k_0 \sqrt{C} z - \sqrt{Q\gamma} v) = 0,$$

и уголъ, составляемый асимптотами съ осью v , равенъ

$$\arctg \pm \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}}.$$

Полуоси гиперболы соответственно равны:

$$a = \sqrt{\frac{\frac{B^2}{4C} - A + \alpha Q}{k_0^2 C}}$$

$$\text{и } b = \sqrt{\frac{\frac{B^2}{4C} - A + \alpha Q}{Q\gamma}}.$$

А слѣдовательно, отношеніе $\frac{v}{k} = y$, при $v = 0$, равно

$$\frac{B}{2Ck_0} - \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{\frac{B^2}{4C} - A + \alpha Q}{C}}.$$

Въ предѣлѣ, при $\alpha Q = A$,

$$\text{полуось } a = \frac{B}{2Ck_0} \text{ при } u = \frac{B^2}{4C}$$

$$\text{и } y = \frac{v}{k} = 0.$$

Для вѣса поѣзда Q , удовлетворяющаго условію $Qv = \text{максимум}$, можно принять приблизительно

$$\alpha Q = 2 \left(A - \frac{B^2}{4C} \right).$$

Въ такомъ случаѣ полуось

$$a = \sqrt{\frac{A - \frac{B^2}{4C}}{k_0^2 C}} = \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{A}{C} - \frac{B^2}{4C^2}}.$$

Тангенсъ угла φ , составляемаго асимптотами съ осью v , выразится

$$\begin{aligned} \text{tg } \varphi &= \pm \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}}, \\ \text{при } \alpha Q &= 2 \left(A - \frac{B^2}{4C} \right), \end{aligned}$$

$$\text{tg } \varphi = \pm \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{\left(A - \frac{B^2}{4C} \right) \gamma}{2C}} \sqrt{\frac{1}{\alpha}}.$$

Полагая въ послѣднемъ выраженіи α переменнымъ, такъ какъ всѣ остальные величины для даннаго паровоза постоянныя, можемъ сказать, что уголь, составляемый асимптотами съ осью v , тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе величина α , члена въ формулѣ сопротивленія, независимаго отъ скорости. Слѣдовательно, при возрастаніи скорости v , паденіе величины отношенія $\frac{v}{k}$, а слѣдовательно и возрастаніе расхода пара на единицу работы поѣзда, тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе подъемъ участка дороги. Въ предѣлѣ при $\alpha = \infty$, т. е. безконечно большемъ сопротивленія $\text{tg } \varphi = 0$ и $\varphi = 0$, т. е. отношеніе $\frac{v}{k}$ величина постоянная. Въ предѣлахъ практическаго значенія вѣса поѣзда Q ,

оцѣниваемого примѣрно максимумъ въ 1100 тоннъ, для нормальнаго паровоза русскихъ казенныхъ дорогъ, наибольшая возможная величина тангенса угла φ выражается, какъ увидимъ ниже, при $\gamma = 0,001$:

$$\operatorname{tg}\varphi = \frac{1}{40} \sqrt{\frac{1,100}{4}} = 0,013$$

$$u \varphi = 40' < 1^\circ.$$

2-й случай. При $\alpha Q = A - \frac{B^2}{4C}$

$$u = 0,$$

и уравненіе гиперболы превращается въ уравненіе для ассимптотъ:

$$k_0 \sqrt{C}z + \sqrt{Q\gamma}v = 0,$$

$$k_0 \sqrt{C}z - \sqrt{Q\gamma}v = 0 \text{ (см. рис. 12).}$$

Слѣдовательно, въ этомъ случаѣ законъ измѣненія отношенія $\frac{v}{k}$, при измѣненіи скорости v , изобразится прямой линіей наклонной къ оси v подъ угломъ $\varphi = \operatorname{arctg} \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}}$.

Относительно угла φ нужно сказать тоже самое.

3-й случай. $\alpha Q < A - \frac{B^2}{4C}$

$$\text{и } u < 0.$$

Въ этомъ случаѣ уравненіе гиперболы, какъ мы видѣли, приметъ видъ

$$\frac{v^2}{-u} - \frac{z^2}{k_0^2 C} = 1,$$

и вѣтви гиперболы при томъ же самомъ уравненіи ассимптотъ

$$(k_0 \sqrt{C}z + \sqrt{Q\gamma}v) (k_0 \sqrt{C}z - \sqrt{Q\gamma}v) = 0$$

$$\text{и значения } tg\varphi = \pm \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{Q_1}{C}}$$

перемѣстятся въ острые углы ассимптотъ (см. рис. 13).

Въ этомъ случаѣ значенія отношенія $\frac{v}{k}$, въ предѣлахъ $v=0$ до $v=b$, (полуоси гиперболы) имѣютъ мнимое выраженіе. Это и понятно, если вспомнить, что, въ этихъ же предѣлахъ значеній скорости v , отсутствуетъ пересѣченіе кривыхъ сопротивленій съ пучками параболъ силъ тяги.

Обобщая всѣ три случая, мы видимъ, что вѣтви гиперболы, въ предѣлахъ до наибольшихъ значеній вѣса поѣзда Q и скорости v , т. е.

$$\text{при } Q = \frac{A - \frac{B^2}{4C}}{\alpha},$$

(что для нормальнаго паровоза при подъемѣ $i = 0,001$ составитъ около 1000 тоннъ) стремятся совпадать съ своими ассимптотами. Поэтому, въ практическихъ расчетахъ не составитъ замѣтной погрѣшности, если принять законъ измѣненія отношенія скорости v къ напряженности поверхности нагрѣва k по нѣкоторой прямой, наклонной къ оси скоростей v подъ нѣкоторымъ угломъ φ , тангенсъ котораго равенъ

$$- \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{Q_1}{C}}.$$

Начальное же значеніе этого отношенія можно принимать:

$$\text{при } v=0, \frac{v}{k} = \frac{B}{2Ck_0} - \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{A}{C} - \frac{B^2}{4C^2}},$$

$$\text{или } \frac{v}{k} = \frac{B}{2Ck_0} \left(1 - \frac{1}{B} \sqrt{4AC - B^2} \right).$$

Какъ непосредственный выводъ изъ всего сказаннаго, **вытекаетъ** нижеслѣдующее положеніе: при увеличеніи **напря-**

женности поверхности нагрѣва k скорость движенія поѣзда v возрастаетъ немного медленнѣе, почему и отношеніе скорости v къ напряженности поверхности нагрѣва падаетъ съ возрастаніемъ скорости v . Степень паденія этого отношенія, при возрастаніи скорости v , опредѣляемая угломъ

$$\varphi = \arctg \left(- \frac{1}{k_0} \sqrt{\frac{Q_1}{C}} \right),$$

вообще очень незначительна, въ предѣлахъ **практическихъ** значеній состава Q , въ самомъ невыгодномъ случаѣ не превышаетъ $\frac{1}{100}$. При разныхъ значеніяхъ виртуальныхъ коэффициентовъ участковъ, степень паденія отношенія $\frac{v}{k}$ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе виртуальный коэффициентъ участка. Слѣдовательно и расходъ пара на единицу работы поѣзда, обратно пропорціональный отношенію $\frac{v}{k}$, вообще увеличивается съ возрастаніемъ скорости движенія поѣзда, но очень незначительно. Въ предѣлахъ практическихъ задачъ, въ самомъ невыгодномъ случаѣ, степень возрастанія расхода пара на единицу работы поѣзда при возрастаніи скорости за счетъ увеличенія напряженности поверхности нагрѣва не превышаетъ $\frac{1}{100}$.

При этомъ степень возрастанія расхода пара тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе эквивалентный подъемъ участка или его виртуальный коэффициентъ.

Такимъ образомъ выраженіе расхода пара, на тоннокилометръ работы поѣзда, можетъ быть представлено въ видѣ:

$$p = \frac{Hk_0}{Q \left(\frac{B - \sqrt{4AC - B^2}}{2C} - v \sqrt{\frac{Q_1}{C}} \right)}$$

для вѣса поѣзда Q , обращающаго Qv —въ максимумъ,

или точно

$$p = \frac{H\kappa_0}{Q \frac{B - \sqrt{4AC - B^2} - 4CQ\gamma v^2}{2C}} = \frac{H\kappa_0}{Q \frac{B - \sqrt{(4AC - B^2) \left(1 + \frac{2\gamma v^2}{\alpha}\right)}}{2C}}.$$

Надо помнить, что это выражение расхода пара на тонно-километръ работы поѣзда выведено для одного и того же вѣса поѣзда Q въ зависимости отъ измѣненія скорости движенія v , представляющей нѣкоторую функцію отъ измѣняющейся напряженности поверхности нагрѣва k . Эта зависимость между v и k выражается уравненіемъ

$$A - B \frac{\kappa_0}{\kappa} v + C \frac{\kappa_0^2}{\kappa^2} v^2 - \alpha Q - Q\gamma v^2 = 0.$$

Разсматривая общее выраженіе p , можно притти къ тѣмъ же выводамъ, что и ранѣе.

Говоря о расходѣ пара на единицу работы поѣзда, въ зависимости отъ измѣненія напряженности поверхности нагрѣва κ , мы не вводили въ расчетъ значеніе коэффиціента полезнаго дѣйствія котла η . При напряженности поверхности нагрѣва κ и соотвѣтствующемъ коэффиціентѣ полезнаго дѣйствія котла η , расходъ топлива на единицу работы поѣзда выразится

$$p_m = C \frac{H\kappa}{\eta Q v},$$

гдѣ C —коэффиціентъ пропорціональности. Если бы мы знали точный законъ зависимости коэффиціента полезнаго дѣйствія котла отъ напряженности поверхности нагрѣва κ , то, имѣя $v = f(\kappa)$ и $\eta = f(\kappa)$, имѣли бы точное выраженіе для расхода топлива въ зависимости отъ измѣненія напряженности поверхности нагрѣва κ . Но этотъ законъ точно намъ неизвѣстенъ, главнымъ образомъ въ виду недостатка соотвѣтствующихъ опытовъ. Можно сказать только, что коэффиціентъ полезнаго дѣйствія котла имѣетъ наибольшее значеніе при нѣ-

которой нормальной напряженности поверхности нагрева. При изменении ее в обе стороны коэффициент полезного действия котла падает (см.: Die Eisenbahn Technik Blum, v. Borries und Barkhausen I стр. 90—95).

Для того, чтобы не усложнять выводов, можно принять, что расход пара или воды на единицу работы поезда представляет точное мѣрило экономности работы. В этом отношении мы будем иметь полное согласие с выводами новейших технических исследований в этом направлении. „Количество израсходованной воды на полезную работу паровоза,“ говорит инженеръ Карташевъ въ „Опытномъ изслѣдованіи паровозовъ“ (стр. 245), „и представляет самый точный коммерческій критеріумъ его экономности.“

Тѣ же самые выводы мы получимъ въ томъ случаѣ, если въ общемъ выраженіи расхода пара на единицу работы поезда $p = \frac{Hk}{Qv}$ будемъ изменять величину поверхности нагрева котла H , сохраняя постоянство ее напряженности k . Тогда отношеніе $\frac{v}{H}$ будетъ подчиняться по тому же самому закону гиперболы, какъ и рассмотрѣнное раньше отношеніе $\frac{v}{k}$. Существенная разница между этими случаями будетъ только въ томъ, что при увеличеніи поверхности нагрева H и постоянной величинѣ ее напряженности коэффициентъ полезнаго дѣйствія котла долженъ быть принятъ величиной постоянной. Если одновременно изменять обѣ величины H и k , то необходимо разсматривать отношеніе $\frac{v}{Hk}$, которое также будетъ слѣдовать закону гиперболы при измененіи величины Hk . Если при измененіи величинъ H и k оставить скорость v постоянной, а заставить изменяться только вѣсъ поезда Q , то, очевидно, отношеніе $\frac{Q}{Hk}$ будетъ величиной

постоянной. Другими словами, вѣсь поѣзда при одной и той же скорости прямо пропорціоналенъ поверхности нагрѣва H и ея напряженности k .

Какъ далѣе увидимъ, при выводѣ общей эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты M_0 , послѣдняя въ общемъ видѣ выражается:

$$M_0 = a + \frac{bHk}{Qv} + \frac{c}{Qv} + \frac{d}{Q}$$

$$\text{или } M_0 = a + \frac{1}{Q} \left[\frac{bHk}{v} + \frac{c}{v} + d \right].$$

При постоянномъ вѣсѣ поѣзда Q и переменныхъ k и v , измѣненіе общей эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты зависитъ отъ членовъ:

$$bH \frac{k}{v} + \frac{c}{v}.$$

Такъ какъ отношеніе $\frac{k}{v}$, какъ мы показали, увеличивается весьма незначительно при увеличеніи напряженности поверхности нагрѣва k особенно на подъемахъ, а членъ $\frac{c}{v}$ напротивъ уменьшается и притомъ обратно пропорціонально скорости v , а слѣдовательно и напряженности поверхности нагрѣва k , то очевидно, что въ общихъ эксплуатаціонныхъ цѣляхъ держаться высшихъ значеній напряженности поверхности нагрѣва гораздо выгоднѣе, чѣмъ сравнительно невысокихъ, особенно же на трудныхъ участкахъ дорогъ или вообще на подъемахъ. Но такъ какъ большая часть всей работы паровозовъ тратится на подъемахъ, то это положеніе можно принять и вообще для всѣхъ участковъ дороги. Еще выгоднѣе съ общей эксплуатаціонной точки зрѣнія увеличивать поверхность нагрѣва H , оставляя ея напряженность постоянной. Самымъ же выгоднымъ случаемъ является увеличеніе вѣса поѣзда или состава за счетъ увеличенія поверхности

нагрѣва H и ея напряженности k при сохраненіи одной и той же скорости движенія. Какъ извѣстно, въ этомъ вопросѣ о величинѣ поверхности нагрѣва и степени ея напряженности, практика американскихъ и европейскихъ, въ частности русскихъ, дорогъ рѣзко расходятся: первыя эксплуатируютъ паровозы съ большей поверхностью нагрѣва и высокой напряженностью. Соответственно этому, и конструкціи американскихъ и европейскихъ товарныхъ паровозовъ существенно различны: первые обычно имѣютъ очень большіе по паропроизводительности котлы съ большой топочною поверхностью нагрѣва, идущей за счетъ уменьшенія дымогарной поверхности нагрѣва, и сравнительно очень большую площадь рѣшетки. Благодаря этому, американскіе паровозы даютъ гораздо большія скорости, чѣмъ европейскіе. Послѣдніе напротивъ, при маломъ соотношеніи общей поверхности нагрѣва къ сѣбному вѣсу (это отношеніе для европейскихъ паровозовъ обычно $\frac{H}{G} < 3$, для американскихъ $\frac{H}{G} > 4$) имѣютъ малую топочную поверхность нагрѣва за счетъ увеличенія дымогарной поверхности нагрѣва и даютъ поэтому сравнительно малыя скорости. Какъ результатъ вышесказанной разности, котлы американскихъ паровозовъ настолько велики, что не могутъ быть помѣщены на однихъ только ведущихъ осяхъ, имѣющихъ повсюду ограниченіе въ смыслѣ предѣльной нагрузки, а еще поддерживаются лишней нерабочей осью или телѣжкой. Нѣкоторые изъ европейскихъ техниковъ видятъ въ этомъ ошибку и недостатокъ конструкціи, такъ какъ часть вѣса паровоза не утилизируется для сѣбной силы тяги. Но изъ сказаннаго очевидно, что американская конструкція съ однимъ или двумя бѣгунками или телѣжкой гораздо цѣлесообразнѣе и вызвана не прихотью американскихъ конструкторовъ, а болѣе живымъ представленіемъ объ экономной утилизациі паровозовъ. Такимъ образомъ, можно сказать, что американская практика дорогъ гораздо ближе къ болѣе экономной утилизациі паровозовъ, чѣмъ европейская, и въ этомъ отно-

шеніи, какъ и во многихъ другихъ, американскіе **техники** путемъ жизненнаго опыта подошли къ такому рѣшенію вопроса, къ какому можно притти путемъ чисто аналитическимъ. Высказанное положеніе о выгодности большихъ величинъ поверхности нагрѣва и высокихъ степеней напряженности приобрѣтаетъ еще большее значеніе, если присоединить къ этому доказанный нами законъ выгодности большихъ скоростей на подъемахъ. Такъ какъ таковыя достигаются за счетъ уменьшенія величины составовъ поѣзда, что весьма невыгодно, то понятно становится, какъ выгодно и необходимо увеличивать возможно болѣе напряженность поверхности нагрѣва на подъемахъ, чему и слѣдуетъ американская практика. Поэтому а priori можно сказать, что, несмотря на всю кажущуюся неэкономность работы американскихъ паровозовъ, эксплуатаціонная стоимость тонно-километра или вагоно-единице-версты на американскихъ дорогахъ гораздо ниже, чѣмъ на европейскихъ, въ частности русскихъ, дорогахъ. На русскихъ дорогахъ такое болѣе вѣрное направленіе технической желѣзнодорожной мысли нашло выраженіе въ послѣднихъ типахъ товарныхъ и пассажирскихъ паровозовъ Владикавказской и Восточно-Китайской дорогъ, о которыхъ мы подробно скажемъ ниже.

На европейскихъ дорогахъ это же направленіе въ конструированіи паровозовъ мы видимъ въ послѣднемъ типѣ товарныхъ паровозовъ compound французской компаніи южныхъ желѣзныхъ дорогъ (См. Revue generale des chemins de fer Avril 1902).

Измѣритель работы поѣздовъ.

Произведеніе вѣса или состава поѣзда на скорость — Qv или nv — можно назвать измѣрителемъ работы поѣздовъ, такъ какъ эти величины представляютъ количество единицъ работы, ~~тундо-версты~~, тонно-километровъ брутто вѣса поѣздовъ, вагоно-единице-версты или километровъ вѣса состава, которое

перерабатывает поѣздъ за часъ работы на перегонѣ. Законъ измѣненія измѣрителя въ зависимости отъ скорости выражается непрерывной кривой, имѣющей всегда максимумъ. Для даннаго паровоза и даннаго участка дороги кривая измѣрителя имѣетъ вполне опредѣленный видъ, способъ нахождения котораго въ общемъ видѣ указанъ выше. Эти основныя свойства измѣрителя вытекаютъ изъ двухъ принциповъ: 1) сопротивление поѣзда движенію и работа сопротивленію непрерывно возрастаетъ съ увеличеніемъ скорости движенія; 2) расходъ пара и топлива на лошадиную силу выражается непрерывной кривой, имѣющей минимумъ при нѣкоторой средней скорости, названной нами ранѣе критической. Какой бы то ни было видъ тѣхъ и другихъ кривыхъ, всегда долженъ существовать минимумъ произведенія ординатъ этихъ кривыхъ, выражающаго расходъ пара и топлива на единицу работы поѣзда, что въ свою очередь обуславливаетъ максимумъ измѣрителя работы поѣздовъ при постоянномъ общемъ расходѣ пара котломъ въ часъ, а тѣмъ болѣе при возрастаніи такового съ возрастаніемъ скорости. Такъ какъ въ желѣзнодорожномъ хозяйствѣ каждый поѣздо-часъ представляетъ вполне опредѣленную единицу эксплуатаціонныхъ расходовъ, то количество единицъ работы, полученныхъ за часъ работы поѣзда, обуславливаетъ эксплуатаціонную стоимость продукта этой работы, т. е. исполненной пудо-версты или вагоно-единице-версты. Въ этомъ заключается важное значеніе измѣрителя работы поѣздовъ, къ которому придется обращаться въ дальнѣйшемъ очень часто.

Сводя въ одно всѣ сдѣланные выводы, можно слѣдующимъ образомъ охарактеризовать при различныхъ предположеніяхъ значеніе измѣрителя работы поѣздовъ, какъ произведеніе вѣса или состава поѣзда на скорость (Qv или nv):

1. Для даннаго типа паровоза и даннаго профиля участка дороги при данной напряженности поверхности нагрѣва и установившемся движеніи всегда существуетъ опредѣленный

законъ измѣненія измѣрителя работы поѣздовъ въ зависимости отъ скорости движенія поѣзда и соответствующаго этой скорости вѣса или состава поѣзда. Наибольшее значеніе измѣрителя въ этомъ случаѣ получается при вполне определенномъ вѣсѣ или составѣ поѣзда и скорости его движенія. Составы поѣзда, дающіе наибольшій измѣритель, тѣмъ менѣе, а соответствующія скорости движенія поѣзда тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе эквивалентный подъемъ или виртуальный коэффициентъ участка дороги. Обратно, чѣмъ менѣе эквивалентный подъемъ, тѣмъ болѣе вѣсъ и составъ поѣзда, дающіе наибольшій измѣритель, и тѣмъ менѣе соответствующая скорость поѣзда.

2. Для получения графическимъ путемъ кривой, выражающей законъ измѣненія измѣрителя работы поѣздовъ въ зависимости отъ скорости и вѣса поѣзда необходимо слѣдующій рядъ графическихъ построений:

а) Нанести кривыя сопротивленій поѣзда движенію для даннаго подъема при разныхъ составахъ и кривую измѣненія силы тяги паровоза при установившемся движеніи. Точки пересѣченія кривыхъ сопротивленія съ кривой силы тяги опредѣляютъ для даннаго состава поѣзда соответствующую скорость.

б) Пользуясь предыдущимъ построеніемъ, нанести для каждаго даннаго подъема кривыя зависимости вѣса или состава поѣзда отъ скорости.

в) Пользуясь послѣдними кривыми, построить для каждаго даннаго подъема кривую зависимости измѣрителя работы поѣздовъ отъ скорости и вѣса или состава поѣзда (рис. 1А).

3. Для даннаго типа паровоза и даннаго подъема при однихъ и тѣхъ же скоростяхъ и составахъ наибольшія значенія измѣрителя работы поѣздовъ получаютъ при наибольшей напряженности поверхности нагрѣва.

4. При измѣненіи напряженности поверхности нагрѣва величина измѣрителя работы поѣздовъ измѣняется прямо

пропорционально напряженности поверхности нагрѣва въ томъ случаѣ, если измѣняется составъ или вѣсъ поѣзда, а скорость остается постоянной. При измѣненіи **измѣрителя** работы поѣздовъ за счетъ измѣненія скорости **при одномъ и томъ же вѣсѣ** поѣзда измѣритель возрастаетъ медленнѣе, чѣмъ напряженность поверхности нагрѣва.

5. Для даннаго паровоза и подъема для данной напряженности поверхности нагрѣва при установившемся движеніи расходъ пара и топлива на единицу **работы поѣздовъ** обратно пропорционаленъ величинѣ **измѣрителя работы поѣздовъ**. Минимумъ расхода соответствуетъ максимуму **измѣрителя работы поѣздовъ**.

6. Для даннаго паровоза и подъема при разныхъ степеняхъ напряженности поверхности нагрѣва расходъ пара и топлива на единицу работы поѣздовъ уменьшается **при уменьшеніи** напряженности поверхности нагрѣва въ томъ **случаѣ**, если измѣритель работы поѣздовъ уменьшается за счетъ уменьшенія скорости движенія. Въ предѣлѣ **наименьшей** расхода пара и топлива (теоретически) получится **при нулевой** напряженности поверхности нагрѣва а, следовательно, и нулевой скорости, т. е. отсутствіи движенія поѣзда.

Примѣненіе принципа виртуальныхъ длинъ къ отысканію наивыгоднѣйшихъ скоростей и составовъ.

Въ статьѣ о наивыгоднѣйшемъ механическомъ значеніи вагоно-единице-^{километръ} ~~версты~~ ^{ми} указали законъ зависимости этой величины отъ скорости движенія v и состава n или общаго вѣса Q . Пользуясь изложенными въ этой статьѣ методами, легко найти наивыгоднѣйшіе въ этомъ смыслѣ скорости и составы для **каждаго участка**, представляющаго сплошной эквивалентный подъемъ, или сплошную площадку, или **сплошной скатъ**, величина котораго еще не обращаетъ въ нуль члена въ формулѣ сопротивленія, независимаго отъ скорости. **При скатахъ**, обращающихъ этотъ членъ въ нуль или отрицательную вели-

чину, задача становится практически неопредѣленной, такъ какъ въ этомъ случаѣ прекращается затрата механической энергіи на передвиженіе поѣзда. Въ слѣдующей статьѣ о наивыгоднѣйшемъ значеніи напряженности поверхности нагрѣва, мы показали общій законъ зависимости расхода механической энергіи на единицу работы поѣздовъ отъ величины напряженности поверхности нагрѣва, для разныхъ значеній члена въ формулѣ сопротивленія, независащаго отъ скорости (подъема и мертвого сопротивленія).

Теперь намъ остается показать, какъ примѣнять описанные выше методы къ практическимъ задачамъ. Если мы имѣемъ любой участокъ дороги длиной l_0 верстъ, съ виртуальнымъ коэффициентомъ работы поѣздовъ α и эквивалент-подъемомъ i , то всегда профиль такого участка можно преобразовать въ условный схематическій профиль, эквивалентный дѣйствительному по количеству затрачиваемой механической энергіи на единицу работы поѣздовъ. Если протяженіе подъемовъ, площадокъ и скатовъ, не обращающихъ въ нуль членъ въ формулѣ сопротивленія, не зависящій отъ скорости, равно l верстъ, а эквивалентный подъемъ для этой части участка i , то эквивалентный профиль можно представить въ видѣ сплошного подъема i на протяженіе l верстъ. Если протяженіе скатовъ, обращающихъ членъ въ формулѣ сопротивленія, не зависящій отъ скорости, въ нуль или отрицательную величину, равно l_1 верстъ, такъ что $l_0 = l + l_1$, то эту часть участка можно представить какъ нѣкоторое протяженіе l_1 , которое поѣздъ проходитъ съ предѣльной допускаемой скоростью v_1 . Хотя теоретически траты механической энергіи не происходитъ при такомъ движеніи, но практически существуетъ извѣстный расходъ топлива и пара, зависящій только отъ времени и нѣсколько большій того расхода энергіи, который существуетъ на стоянкахъ при поддерживаніи пара въ паровозѣ, такъ какъ потери теплоты черезъ стѣнки котла гораздо больше при движеніи. Такимъ образомъ, весь уча-

этокъ дороги можетъ быть представленъ въ видѣ двухъ отдѣльныхъ профилей, какъ показано на рис. 15.

Для части участка l , извѣстными уже намъ методами, можно найти значенія скорости v и состава n или вѣса поѣзда Q , обращающихъ значеніе произведенія nv или Qv въ максимумъ, а расходъ пара на единицу работы поѣздовъ въ минимумъ.

Тогда расходъ пара на тонно-километръ или вагоно-единице-километръ выразится на участкѣ l :

$$p = \frac{Hk}{Qv} \left(\frac{Hk}{nv} \right).$$

А расходъ пара на участкѣ l_1 выразится:

$$p_1 = \frac{\beta Hk}{Qv_1} \left(\frac{\beta Hk}{nv_1} \right),$$

гдѣ β нѣкоторый численный коэффициентъ, меньшій 1.

Средній же расходъ пара на единицу работы поѣздовъ на протяженіи всего участка l выразится:

$$p_0 = \frac{Hk}{Qv} \frac{l}{l_0} + \beta \frac{Hk}{Qv_1} \frac{l_1}{l_0}.$$

Для каждаго участка величины $\frac{l}{l_0}$ и $\frac{l_1}{l_0}$ являются постоянными. Обозначимъ $\frac{l}{l_0}$ черезъ $\gamma < 1$, тогда $\frac{l_1}{l_0} = \frac{l_0 - l}{l_0} =$

$$= 1 - \gamma = \delta < 1,$$

коэффициентъ $\beta < 1$ также можно считать постояннымъ.

Предѣльная скорость v_1 для данной дороги также величина постоянная.

Тогда средняя скорость на перегонѣ для всего участка въ l_0 верстъ выразится:

$$v_0 = \frac{l_0}{\frac{l}{v} + \frac{l_1}{v_1}} = \frac{v v_1}{v \frac{l_1}{l_0} + v_1 \frac{l}{l_0}} = \frac{v v_1}{v \delta + v_1 \gamma},$$

отсюда

$$v = \frac{v_0 v_1 \gamma}{v_1 - v_0 \delta}.$$

$$\text{и } v_1 = \frac{v v_0 \delta}{v - v_0 \gamma}$$

Для простоты подсчетовъ можно принять величиной постоянной не предѣльную скорость, а ея отношеніе въ средней скорости на рабочихъ участкахъ профиля. Пусть

$$\frac{v_1}{v} = n \text{ и } v_1 = n v.$$

Тогда

$$v_0 = \frac{n v}{\delta + n \gamma} = \frac{1}{\frac{\delta}{n} + \gamma} v$$

$$\text{и } v = v_0 \left(\frac{\delta}{n} + \gamma \right), \text{ гдѣ } \left(\frac{\delta}{n} + \gamma \right) < 1$$

и $v_1 = v_0 (\delta + \gamma n)$, гдѣ $(\delta + \gamma n) > 1$.

Или, замѣняя δ черезъ $1 - \gamma$,

$$v_0 = \frac{n}{1 - \gamma + n \gamma} v = \frac{n}{1 + \gamma(n - 1)} v,$$

$$v = \frac{1 + \gamma(n - 1)}{n} v_0,$$

$$\text{и } v_1 = [1 + \gamma(n - 1)] v_0.$$

$$P_0 = \frac{Hk}{Qv} \frac{l}{l_0} + \beta \frac{Hk}{Qv_1} \frac{l_1}{l_0} = \frac{Hk}{Qv} \gamma + \beta \frac{Hk}{Qv_1} (1 - \gamma)$$

$$p_0 = \frac{H\kappa}{Qv_0} \left[\frac{\gamma n}{1 + \gamma(n-1)} + \frac{\beta(1-\gamma)}{1 + \gamma(n-1)} \right],$$

$$p_0 = \frac{H\kappa}{Qv_0} \frac{\gamma n + \beta - \beta\gamma}{1 + \gamma(n-1)} = \frac{H\kappa}{Qv_0} \frac{\beta + \gamma(n-\beta)}{1 + \gamma(n-1)}.$$

Если это выражение представить въ видѣ:

$$p_0 = \frac{H\kappa}{Qv_0} \frac{\gamma n + \beta(1-\gamma)}{\gamma n + (1-\gamma)} = \frac{H\kappa}{Qv_0} \alpha,$$

то, при условіи $n > 1$ и $\beta < 1$,

$$\gamma n + (1-\gamma) > \gamma n + \beta(1-\gamma)$$

$$\text{и } \frac{\gamma n + \beta(1-\gamma)}{\gamma n + (1-\gamma)} < 1 \text{ и } > 0.$$

Если бы $l = l_0$ или $\gamma = 1$ то очевидно $v_0 = v$

$$\text{и } p_0 = \frac{H\kappa}{Qv_0} = \frac{H\kappa}{Qv}.$$

Если бы $n = 1$, а $\beta = 0$, то $v_0 = v$

$$\text{и } p_0 = \frac{H\kappa}{Qv_0} \gamma = \frac{H\kappa}{Qv} \gamma.$$

Такимъ образомъ для всякаго участка дороги расходъ пара или вообще механической энергіи на единицу работы поѣздовъ можетъ быть выраженъ въ видѣ

$$p_0 = \frac{H\kappa}{Qv_0} \alpha,$$

гдѣ κ существующая напряженность поверхности нагрѣва, v_0 — средняя скорость движенія поѣзда на перегонахъ по всему участку, прямо пропорціональная средней скорости по рабочему профилю участка, а α — коэффициентъ, представляющій правильную дробь и имѣющій постоянную величину для каждаго участка дороги.

Поэтому очевидно, все выведенныя нами законы изменения величины расхода энергии на единицу работы поѣздовъ имѣють полностью мѣсто въ этомъ случаѣ, такъ какъ найденное нами выраженіе $p_0 = \frac{Hk}{Qv_0} \alpha$, всегда можетъ быть преобразовано въ форму

$$p_0 = \frac{Hk}{Qv} \eta,$$

гдѣ v —скорость движенія по рабочему профилю, а η —постоянная величина для даннаго участка.

Не трудно видѣть, что при постоянныхъ значеніяхъ напряженности поверхности нагрѣва k , веса поѣзда Q и средней скорости по рабочему профилю v , величина коэффициента η , слѣдовательно и расходъ энергии на единицу работы поѣздовъ, тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе допускаемая предѣльная скорость движенія поѣздовъ по скатамъ, чѣмъ менѣе отношеніе длины рабочаго профиля къ общему протяженію участка и чѣмъ менѣе значеніе коэффициента потери энергии на нерабочихъ частяхъ участка.

Такъ какъ при рѣшеніи практическихъ задачъ приходится обращаться съ средними скоростями на перегонахъ по всему участку, включая рабочія и нерабочія части его профиля, то мы будемъ пользоваться выраженіемъ расхода пара на единицу работы поѣздовъ въ видѣ

$$p_0 = \alpha \frac{Hk}{Qv_0}.$$

Способъ же нахождения численнаго значенія коэффициента α мы покажемъ ниже по даннымъ годовыхъ отчетовъ желѣзныхъ дорогъ.

Слѣдуетъ прибавить, что на рабочихъ частяхъ профиля практически не приходится все время держаться наибольшей напряженности поверхности нагрѣва, такъ какъ въ противномъ случаѣ при существующихъ составахъ товарныхъ по-

Ѣздовъ могли бы на площадкахъ получаться весьма большія скорости. Но ранѣе мы показали, что на легкихъ профиляхъ выгодно понижать напряженность поверхности нагрѣва, а на тяжелыхъ обратно выгодно увеличивать. Слѣдовательно, если при расчетѣ для найденнаго значенія эквивалентнаго подъема участка мы нашли наивыгоднѣйшія значенія скорости и состава при нѣкоторой наибольшей напряженности поверхности нагрѣва κ , то еще большее увеличение послѣдней на предѣльныхъ подъемахъ можетъ только понизить общую эксплуатаціонную стоимость единицы работы поѣздовъ, а пониженіе напряженности поверхности нагрѣва на легкихъ профиляхъ мало отразится на измѣненіи эксплуатаціонной стоимости единицы работы поѣздовъ.

Примѣненіе общихъ выводовъ къ нормальному товарному паровозу compound русскихъ желѣзныхъ дорогъ.

Для уясненія слѣдующихъ общихъ выводовъ, примѣнимъ таковыя къ частному случаю: тягѣ поѣздовъ нормальнымъ товарнымъ паровозомъ compound русскихъ казенныхъ ж. д. Главныя размѣры въ метрахъ указаннаго типа взяты ниже слѣдующіе:

діаметръ цилиндра низкаго давленія d_1	0,730,
діаметръ цилиндра высокаго давленія d_{II}	0,500,
ходъ поршня h	0,650,
діаметръ ведущихъ колесъ D	1,200,
наружная поверхность нагрѣва котла	152,56,
внутренняя поверхность нагрѣва котла H	142,00,
предѣльное манометрическое давленіе въ котлѣ въ атмосферахъ p_0	11,5,
свѣтлой вѣсъ = общему вѣсу паровоза въ ра- бочемъ состояніи въ тоннахъ	52,

вѣсь тендера въ рабочемъ состояннн въ тоннахъ . 38,

наибольшая напряженность поверхности нагрѣва
въ килограммахъ съ кв. метра k 40;

нормальная напряженность поверхности нагрѣва
(принятая при расчетѣ) k_0 30.

Среднее индикаторное давленнн для обоихъ цилиндровъ
о формулѣ Leitzmann'a можетъ быть выражено:

$$p_i = \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\varepsilon} + \frac{c}{\varepsilon^2} \right),$$

гдѣ a , b и c — коэффициенты, опредѣляемые изъ индикаторныхъ диаграммъ, снятыхъ въ натурѣ. За недостаткомъ подробныхъ диаграммъ, указанные коэффициенты могутъ быть опредѣлены изъ таблицъ среднихъ индикаторныхъ давленнн Нгабак'а для compound паровозовъ. Эти таблицы изображены графически на чертежѣ 1. *)

Пользуясь этими таблицами, можно составить три слѣдующихъ уравненнн для отсѣчекъ малаго цилиндра $\varepsilon = 0,50$, $0,40$ и $0,20$:

$$\begin{aligned} p_i &= 4,78 = 0,125 (a - 2b + 4c) \\ 4,02 &= 0,125 (a - 2,5b + 6,25c) \\ 2,22 &= 0,125 (a - 5b + 25c) \\ 38,24 &= a - 2b + 4c \\ 32,16 &= a - 2,5b + 6,25c \\ 17,76 &= a - 5b + 25c. \end{aligned}$$

Рѣшая эти три уравненнн относительно трехъ неизвѣстныхъ a , b и c , имѣемъ:

$$a = 73,2, \quad b = 21,8, \quad c = 2,13.$$

*) См. также „Паровозы“ Блюмъ, ф. Норрисъ и Баркгаузенъ, стр. 272. Таб. XXVIII. Изд. Риккера 1900 г.

Зависимость между отсѣчкой малаго цилиндра ε и скоростью поѣзда v можетъ быть выражена, какъ мы нашли (стр. 25), въ видѣ:

$$\varepsilon v = \frac{Hk}{1000 u_1 \gamma} = \alpha,$$

$$u_1 = \frac{d_1^2 h}{2D} = \frac{0,5^2 \times 0,65}{2 \times 1,2} = 0,068,$$

$$\gamma = 6,24,$$

$$Hk = 4260,$$

$$\varepsilon v = \frac{4260}{424,8} = 10,04,$$

$$\frac{1}{\varepsilon} = \frac{v}{10,04},$$

$$\frac{1}{\varepsilon^2} = \frac{v^2}{10,04^2}.$$

Индикаторная сила тяги по формулѣ Leitzmann'a выражается:

$$Z = A - Bv + Cv^2$$

или $Z = 100^2 u_1 \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\alpha} v + \frac{c}{\alpha^2} v^2 \right),$

$$u_1 = \frac{d_1^2 h}{2D} = \frac{0,73^2 \times 0,65}{2 \times 1,2} = 0,144,$$

$$Z = 180 \left(73,2 - \frac{21,8}{10,04} v + \frac{2,13}{10,04^2} v^2 \right),$$

$$Z = 13210 - 393v + 3,85v^2,$$

гдѣ $A = 13210$, $B = 393$ и $C = 3,85$.

Значеніе критической скорости, опредѣляемой уравненіемъ

$$v = \frac{B - \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C},$$

будетъ равно:

$$v = \frac{393 - \sqrt{393^2 - 3 \times 3,85 \times 13210}}{11,55},$$

$$v = \frac{393 - 43}{11,55} = \frac{350}{11,55} = 30,30 \text{ км.}$$

Для наибольшей возможной напряженности поверхности нагрѣва $k = 40 \text{ кг}$, значеніе критической скорости будетъ соответственно равно:

$$v = \frac{k}{\kappa_0} \frac{B - \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C} = 40,40 \text{ км.}$$

Индикаторная работа паровоза въ зависимости отъ скорости выразится:

$$N = (13210 - 393v + 3,85v^2) \frac{v}{270}.$$

Наибольшая индикаторная работа паровоза при $\kappa = 30 \text{ кг}$. будетъ равна *max.* $N = 542 \text{ НР.}$

Наименьшій расходъ пара на индикаторную лошадь:

$$q_{\min.} = \frac{Hk}{N_{\max.}} = \frac{4260}{542} = 7,86 \text{ кг.}$$

На основаніи уравненія $Z = 13210 - 393v + 3,85v^2$ могутъ быть найдены слѣдующія численные значенія силы тяги, индикаторной работы и расхода пара на индикаторную лошадь въ часть для $\kappa = 30 \text{ кг.}$:

Скорость $\frac{\text{км}}{\text{ч}}$	Z kg.	N НР.	$\frac{\text{кг}}{\text{ч}}$
10	9666	358	11,90
15	8182	455	9,58
20	6731	499	8,54
25	5792	536	7,95
30	4885	542	7,86
35	4172	541	7,88
40	3651	541	7,89

Индикаторная работа паровоза для скоростей, вышихъ критической, можетъ быть найдена изъ выраженія

$$N = \frac{H\kappa}{a(v-b)^2 + c},$$

гдѣ $c = 7,86$, $b = 30,30$.

Параметръ a можетъ быть найденъ изъ приведенныхъ выше данныхъ о расходѣ пара на лошадиную силу для паровозовъ compound прусскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогъ, откуда можно взять $a = 0,003$. Такимъ образомъ:

$$N = \frac{4260}{0,003(v-30)^2 + 7,86}$$

Такъ какъ наибольшая отсѣчка въ маломъ цилиндрѣ $\varepsilon = 0,75$, то дѣйствительное наибольшее значеніе силы тяги соотвѣтствуетъ скорости

$$v = \frac{10,04}{0,75} = 13,38 \text{ km.}, \text{ и}$$

$$\text{max. } Z = 8645 \text{ kg.}$$

Сосднее значеніе сдѣпной силы тяги можетъ быть принято $Z = \frac{52000}{6} = 8667 \text{ kg.}$

На основаніи приведенныхъ расчетовъ на черт. 2 построена кривая силы тяги, и тамъ же нанесены кривыя сопротивленій поѣзда для разныхъ составовъ и подъемовъ, вычисленныхъ по формулѣ проф. Петрова. На черт. 3, построена кривая индикаторной работы паровоза въ зависимости отъ скорости.

На основаніи построеній черт. 2 вычислена зависимость между составомъ поѣзда (въ вагоно-единицахъ), и скоростью для разныхъ значеній эквивалентныхъ подъемовъ, и построены соотвѣтствующія кривыя, показанныя на черт. 4.

По послѣднимъ кривымъ на томъ же чертежѣ 4, построены кривыя измѣрителя работы поѣздовъ, или произведенія скорости на составъ, для разныхъ эквивалентныхъ подъемовъ.

Значенія состава и измѣрителя работы поѣздовъ въ зависимости отъ скорости показаны въ прилагаемыхъ таблицахъ:

Составъ поѣзда въ вагоно-единицахъ при напряженности поверхности нагрѣва $\kappa = 30$ *kg*.

Подъемы	СКОРОСТЬ КИЛОМЕТРЫ ВЪ ЧАСЪ								
	13,4	15	20	25	30	35	40	45	50
0	155	150	121	95	75	54,5	38,7	26,2	15,7
2	100	92,7	70,5	54	41,3	30,7	22,2	14,8	8,8
4	66	61,5	47	36,4	27,1	20,3	14,6	9,50	5,3
6	48	44,8	34,3	26,2	19,9	15,1	10,3	6,4	3,1
8	36	33,3	25,6	20,5	15,8	11,4	7,4	4,1	1,6

Измѣритель работы поѣзда въ вагоно-единице-километрахъ при напряженности поверхности нагрѣва $\kappa = 30$ *kg*.

Подъемы	СКОРОСТЬ КИЛОМЕТРЫ ВЪ ЧАСЪ								
	13,4	15	20	25	30	35	40	45	50
0	2077	2 50	2415	2380	2240	1907	1550	1179	800
2	1340	1390	1410	1355	1240	1090	888	666	437
4	884	922	940	910	820	712	580	428	265
6	643	672	686	655	597	528	414	286	155
8	482	495	512	513	475	397	294	184	82

Наивыгоднѣйшія скорости, дающія наибольшій измѣритель работы поѣзда соотвѣтственно равны:

$$i = 0 - v = 17,3,$$

$$i = 2 - v = 18,2,$$

$$i = 4 - v = 19,4,$$

$$i = 6 - v = 21,0,$$

$$i = 8 - v = 23,1.$$

Наивыгоднѣйшія скорости, соотвѣтствующіе измѣрители работы паровоза приведены въ слѣдующей таблицѣ:

Подъемъ	Наивыгоднѣйшая скорость	Составъ	Измѣритель работы паровоза
0	17,3	141	2439
2	18,2	78	1420
4	19,4	48,7	945
6	21,0	32,7	687
8	23,1	22,6	522

Если сопротивление поѣзда опредѣлять по формулѣ нѣмецкихъ инженеровъ $w = 2,4 + 0,001v^2 + i$, то наивыгоднѣйшая скорость, дающая наибольшій измѣритель работы паровоза, можетъ быть найдена изъ уравненія:

$$v^4 + \left[3 \frac{\alpha}{\gamma} - \frac{A}{C} \right] v^2 - 2 \frac{\alpha}{\gamma} \frac{B}{C} v + \frac{\alpha}{\gamma} \frac{A}{C} = 0.$$

Для подъема $i = 8$ наивыгоднѣйшая скорость найдется слѣдующимъ образомъ:

$$\frac{\alpha}{\gamma} = 10400, \quad \frac{A}{C} = 3435, \quad \frac{B}{C} = 102,1.$$

$$v^4 + 27765v^2 - 2123680v + 35724000 = 0,$$

для $v = 25$:

$$v^4 + 27765v^2 + 35724000 = 53467750 > 2123680v = 50092000,$$

для $v = 26$:

$$v^4 + 27765v^2 + 35724000 = 54950116 < 2123680v = 55215680.$$

Слѣдовательно, искомая скорость находится между 25 и 26 километрами, и ее можно принять равной 25,9 кил.

Для $i = 0$, т. е. площадки, наивыгоднѣйшая скорость, дающая наибольшій измѣритель работы паровоза на площадкѣ, найдется подобнымъ-же образомъ:

$$\frac{\alpha}{\gamma} = 2400, \quad \frac{A}{C} = 3435, \quad \frac{B}{C} = 102,1,$$

$$v^4 + 3765v^2 - 490080v + 824400 = 0,$$

для $v = 20$:

$$v^4 + 3765v^2 + 824400 = 9910000 > 490080v = 9801600,$$

для $v = 21$:

$$v^4 + 3765v^2 + 824400 = 10098846 < 490080v = 10291680.$$

Поэтому, искомая скорость находится въ предѣлахъ 20—21 километра.

Высшія значенія наивыгоднѣйшихъ скоростей, полученные послѣднимъ путемъ, объясняются тѣмъ, что въ формулѣ нѣмецкихъ инженеровъ нѣтъ члена съ первой степенью скорости v , для графическихъ-же построеній взята формула проф. Петрова, куда входятъ члены съ первой и второй степенью скорости v . Кромѣ того, мертвое сопротивленіе по формулѣ нѣмецкихъ инженеровъ (2,4) болѣе такового-же въ формулѣ проф. Петрова (1,2). Всѣ приведенныя значенія скоростей, составовъ и измѣрителей работы паровоза, соответствуютъ средней напряженности поверхности нагрѣва, болѣе всего встрѣчающейся на практикѣ, т. е. 30 *kg*.

Для наибольшей напряженности поверхности нагрѣва, которую принято считать для разбираемаго типа въ $40 \frac{kg}{mt^2}$, формула Leitzmann'a $Z = A - Bv + Cv^2$ приметъ видъ:

$$Z = 13210 - 393 \frac{3}{4} v + 3,85 \frac{9}{16} v^2,$$

$$Z = 13210 - 295v + 2,17v^2.$$

Критическая скорость, соответствующая этой напряженности поверхности нагрѣва, найдена ранѣе и равна 40,40 километра.

Наивыгоднѣйшую скорость, дающую наибольшей измѣритель работы паровоза, найдемъ, какъ и ранѣе, изъ уравненія:

$$v^4 + \left[3 \frac{\alpha}{\gamma} - \frac{A}{C} \right] v^2 - 2 \frac{\alpha}{\gamma} \frac{B}{C} v + \frac{\alpha}{\gamma} \frac{A}{C} = 0.$$

Для $i = 8$ это уравненіе приметъ видъ:

$$\frac{\alpha}{\gamma} = 10400, \frac{A}{C} = 6100, \frac{B}{C} = 136,2,$$

$$v^4 + 25100v^2 - 2832960v + 62504000 = 0.$$

Для $v = 30$:

$$v^4 + 25100 v^2 + 62504000 = 85904000 > 2832960 v = 84988800.$$

Для $v = 31$:

$$v^4 + 25100 v^2 + 62504000 = 86548621 < 28329600 = 87821760.$$

Искомую скорость можно принять равной 30,4 километра. Можно предположить съ достаточной степенью точности, что всѣ остальные наивыгоднѣйшія скорости, для $k = 40 \frac{kg}{mt^2}$ измѣнятся въ той-же пропорціи, какъ и скорости для $i = 8$,

т. е. въ отношеніи $\frac{30,4}{25,9} = 1,17$.

Такимъ образомъ, наимыгоднѣйшія скорости, дающія наибольшей измѣритель работы паровоза при напряженности поверхности нагрѣва $k = 40 \frac{kg}{mt^2}$, соотвѣтственно будутъ равны: $i = 0 - v = 20,24$, $i = 2 - v = 21,30$, $i = 4 - v = 22,70$, $i = 6 - v = 24,57$, $i = 8 - v = 27,03$.

Чтобы отыскать соотвѣтствующія этимъ скоростямъ составы поѣздовъ и опредѣлить соотвѣтствующіе измѣрители работы, не прибѣгая къ построениямъ кривыхъ для $k = 40$, можно поступить слѣдующимъ образомъ: для $i = 8$ и $k_0 = 30$, $v_0 = 23,1$ и $n_0 = 22,6$. Если увеличивать напряженность поверхности нагрѣва съ $\kappa = 30$ до $k = 40$ при одномъ и томъ же составѣ n_0 , то скорость v_0 увеличится до скорости v , опредѣляемой изъ уравненія:

$$\frac{v}{\kappa} = \frac{v_0}{k_0} - \frac{v - v_0}{k_0} \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}},$$

$$v = \frac{k}{\kappa_0} v_0 - \frac{k}{\kappa_0} v \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}} + \frac{k}{\kappa_0} v_0 \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}},$$

$$v \left(1 + \frac{k}{\kappa_0} \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}} \right) = \frac{k}{\kappa_0} v_0 \left(1 + \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}} \right),$$

$$\sqrt{\frac{Q\gamma}{C}} = 0,37, \quad \frac{\kappa}{\kappa_0} = \frac{4}{3}, \quad v_0 = 23,1$$

$$v = \frac{\frac{\kappa}{\kappa_0} v_0 \left(1 + \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}} \right)}{1 + \frac{\kappa}{\kappa_0} \sqrt{\frac{Q\gamma}{C}}},$$

$$v = \frac{\frac{4}{3} \times 23,1 \times 1,37}{1 + \frac{4}{3} \times 0,37} = 28,4 \text{ км.}$$

Тогда для $k = 30$ скорость, соответствующая $v = 27,03$ при $k = 40$, найдется изъ уравненія (приближенно):

$$\frac{v}{27,03} = \frac{23,1}{28,4}, \quad v = 21,98.$$

Для скорости $v = 21,98$ изъ кривой зависимости между v и n (черт. 4) найдемъ соответствующій составъ $n_0 = 23,7$. Въ такомъ случаѣ, наибольшій измѣритель работы паровоза при $k = 40$ равенъ:

$$vn_{max.} = 27,03 \times 23,7 = 641.$$

Изъ приведеннаго примѣра видно, что при увеличеніи напряженности поверхности нагрѣва съ 30 до 40 килогр. съ кв. метра, т. е. на $33\frac{1}{3}\%$, наибольшій измѣритель работы паровоза увеличится на 23% . Если сдѣлать болѣе точный подсчетъ, то увеличеніе измѣрителя выразится 25% .

Всѣ вышеприведенные расчеты сдѣланы на основаніи формулы Leitzmann'a въ предположеніи, что напряженность поверхности нагрѣва k при установившемся движеніи величина постоянная. Если-же предположить, что послѣдняя возрастаетъ съ возрастаніемъ скорости движенія, чего до извѣстной степени возможно достигнуть на практикѣ, то тѣмъ болѣе будутъ имѣть мѣсто какъ въ общемъ, такъ и частномъ случаѣ, всѣ сдѣланные выводы съ той только разницей, что значенія наивыгоднѣйшихъ скоростей, дающихъ наибольшій измѣритель работы паровоза, для тѣхъ-же самыхъ подъемовъ будутъ высшія, чѣмъ при постоянной напряженности поверхности нагрѣва. Формула Франка $N = a + b \sqrt{v}$, о которой было сказано выше, въ данномъ случаѣ можетъ быть разсматриваема, какъ формула, дающая число лошадиныхъ силъ, получаемое съ паровоза, при постепенномъ возрастаніи напряженности поверхности нагрѣва съ возрастаніемъ скорости. Для нормальнаго товарнаго паровоза эта формула можетъ имѣть видъ (коэффициенты Владикавказской дороги):

$v = 85,4 + 80,5 \sqrt{v}$ для напряженности поверхности нагрѣва при высшихъ скоростяхъ $\kappa = 40$.

Наивыгоднѣйшая скорость, дающая наибольшій измѣритель работы паровоза, найдется, какъ и ранѣе, изъ уравненія:

$$\frac{d(Qv)}{dv} = 0,$$

$$\frac{1}{2} \frac{b}{\sqrt{v}} (\alpha + \gamma v^2) - 2\gamma v (a + b \sqrt{v}) = 0$$

$$\alpha b - 3\gamma b v^2 - 4a\gamma v \sqrt{v} = 0.$$

Для $i = 8$ послѣднее уравненіе приметъ видъ:

$$837 - 0,242v^2 - 0,342v \sqrt{v} = 0,$$

откуда $v = 53$ клм.

$$\text{Для } i = 0: 193 - 0,242v^2 - 0,342v \sqrt{v} = 0,$$

откуда $v = 25$ клм.

Подобный методъ нахождения наивыгоднѣйшей скорости предложенъ нѣмецкими инженерами Lilienstern'омъ и Jahn'омъ*) (Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens 1901 № 6, 1902 № 11). Для послѣдняго типа паровозовъ compound венгерскихъ жел. дор. они даютъ, пользуясь графическими построениями, слѣдующія наивыгоднѣйшія скорости: для $i = 0 - v = 27$, для $i = 2 - v = 34$, $i = 5 - v = 38$, $i = 10 - v = 40$ (послѣдняя скорость уменьшена влѣдствіе ошибки построенія).

Такъ какъ при этомъ методѣ исключено понятіе о критической скорости, какъ предѣлѣ, за которымъ работа паровоза уже не возрастаетъ, то значеніе наивыгоднѣйшихъ скоростей для подъемовъ, большихъ 0,008, получаютъ практически невѣроятными. Ранѣе же нами показано, что предѣломъ наивыгоднѣйшихъ скоростей является критическая

*) См. также Le Génie Civil № 16, 1903. „Les charges et les vitesses les plus favorables des trains de marchandises“ ing. Barbier и переводъ этой статьи наж. Янушевскимъ въ „Инженеръ“ № 6, 1903 г. Этотъ-же вопросъ разобранъ проф. Петровымъ въ Инженерномъ журналѣ за мартъ 1902 года.

скорость паровоза, вполне определенная для данной напряженности поверхности нагрева. Поэтому употребляемый немецкими инженерами метод нахождения наивыгоднейших скоростей, особенно для больших подъемов, нужно признать не совсем правильным, так как формула Франка $N = a + b \sqrt{v}$ для больших скоростей безусловно не может быть применима. В этом отношении предлагаемый нами метод является строго математическим, давая точные предѣлы для наивыгоднейших скоростей и являясь применимым для всех значений эквивалентных подъемов i .

Зависимость провозной способности желѣзныхъ дорогъ отъ измѣрителя работы паровозовъ.

Наибольшее количество вагоно-единицъ, которое можно перевести за сутки по данному участку дороги въ зависимости отъ наиболѣе труднаго перегона, составляетъ перегонную *) провозную способность участка дороги. Если обозначить длину наиболѣе труднаго **) перегона участка черезъ l , среднюю скорость поѣзда на рабочей части перегона черезъ v и отношеніе послѣдней къ средней скорости на всемъ перегонѣ черезъ α , то наибольшее количество поѣздовъ, которое можно пропустить по данному перегону и направленію, т. е. пропускная способность участка, выразится:

$$\frac{24}{\frac{\alpha l}{v}} = 24 \frac{v}{\alpha l}.$$

Такъ какъ дѣйствительное время занятія перегона поѣздомъ всегда болѣе теоретическаго $\frac{\alpha l}{v}$ на нѣкоторую вели-

*) Въ отличіе отъ провозной способности участка дороги въ зависимости отъ развитія промежуточныхъ и узловыхъ станцій.

**) Это выраженіе слѣдуетъ понимать въ томъ смыслѣ, что данный перегонъ, сравнительно съ другими, требуетъ наибольшей механической работы для передвиженія по немъ каждой вагоно-единицы.

зависящую отъ способа сношеній станцій по приему и отправленію поѣздовъ, то дѣйствительная пропускная способность участка дороги должна выразиться, какъ

$$\frac{24}{\frac{\alpha l}{v} + \delta},$$

гдѣ δ — тотъ промежутокъ времени, который тратится на сношеніе станцій по движенію поѣздовъ. *) Для болѣе простого вида формулы полученное выраженіе можно съ нѣкоторой погрѣшностью переписать въ видѣ:

$$24 \frac{\mu v}{\alpha l},$$

гдѣ μ и $\alpha < 1$, при чемъ μ представляетъ обратную величину коэффициента увеличенія времени занятія перегона поѣздомъ благодаря сношеніямъ станцій между собой по приему и отправленію поѣздовъ.

Такимъ образомъ, пропускная способность даннаго участка дороги всегда можетъ быть выражена въ видѣ:

$$24\eta \frac{v}{l},$$

гдѣ $\eta = \frac{\mu}{\alpha}$ численный коэффициентъ, близкій къ единицѣ и зависящій отъ профиля перегона и способовъ движенія поѣздовъ между станціями. Если обозначить средній составъ каждаго поѣзда въ вагоно-единицахъ черезъ n , то все количество вагоно-единицъ, перевозимыхъ за сутки $24\eta \frac{v}{l}$ поѣз-

*) Железнодорожной практикой найдены слѣдующія среднія значенія δ : для поездовъ по телеграфу $\delta = 4-7$ минутъ, при электрической жезловой системѣ $\delta = 3-4$ минутъ, при электрической блокировкѣ $\delta = 0-1$ минуты.

дами по данному направлению, или провозная способность участка дороги выразится:

$$24\eta \frac{vn}{l}, \text{ или}$$

$$24\eta \cdot \frac{Qv}{l},$$

если выражать провозную способность участка дороги во вѣсѣ поѣздовъ брутто. Такъ какъ произведеніе вѣса или состава поѣзда на скорость представляетъ измѣритель работы поѣзда, то можно сказать, что провозная способность участка дороги прямо пропорціональна измѣрителю работы паровоза на наиболѣе трудномъ перегонѣ данного участка.

Зависимость измѣрителя работы паровоза отъ поверхности нагрѣва котла, ея напряженности и предѣльнаго давленія въ котлѣ.

При сравненіи разныхъ типовъ паровозовъ, какъ двигателей, съ эксплуатаціонной точки зрѣнія существеннѣйшее значеніе приобретаетъ, какъ мы увидимъ ниже, величины измѣрителей ихъ работы на данныхъ участкахъ дороги. Съ этой цѣлью, необходимо для каждаго типа, путемъ описанныхъ выше графическихъ построеній или аналитическихъ расчетовъ, найти законъ измѣненія измѣрителя работы паровоза въ зависимости отъ скоростей и составовъ для наибольшихъ значеній напряженности поверхности нагрѣва. Тогда наибольшія значенія измѣрителей для однихъ и тѣхъ же подъемовъ могутъ являться вполне опредѣленными характеристиками сравниваемыхъ типовъ, опредѣляя наибольшее количество вагоно-единице-верстъ которое можно получить съ каждаго паровоза за часъ работы на данномъ участкѣ. Ранѣе мы показали, что при возрастаніи поверхности нагрѣва и ея напряженности измѣритель работы паровоза возрастаетъ нѣсколько медленнѣе первыхъ величинъ. Равнымъ образомъ, и при увеличеніи давленія въ котлѣ, измѣритель также воз-

растаетъ нѣсколько медленно давленія. Если въ выраженіи силы тяги:

$$Z = A - Bv + Cv^2 = 100^2 u_i \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\alpha} v + \frac{c}{\alpha^2} v^2 \right),$$

$$\text{гдѣ } \alpha = \frac{Hk}{1000u_i \gamma},$$

въсь кубическаго метра пара γ , при абсолютномъ давленіи пара $p_0 + 1 = p$, выразитъ приближенной формулой $\gamma = 0,5p$, примѣняя законъ Бойля — Марриота къ насыщенному пару, то это выраженіе приметъ видъ:

$$Z = 100^2 u_i p \left(a - 500 u_i b \frac{p}{Hk} v + 500^2 u_i^2 c \frac{p^2}{(Hk)^2} v^2 \right).$$

Такъ какъ измѣрители работы паровозовъ при одиѣхъ и тѣхъ же скоростяхъ относятся, какъ величины силы тяги, то полученное выраженіе даетъ аналитическую зависимость измѣрителя отъ величинъ H и p . Если въ этомъ же выраженіи считать переменнѣйшей величиной абсолютное давленіе въ котлѣ p , а остальные величины постоянными, то получается зависимость силы тяги Z отъ переменнѣйшей p по кубической параболѣ, что представляетъ возможность найти то значеніе абсолютнаго давленія пара въ котлѣ, которое дастъ наибольшую силу тяги при данной скорости. *) Точно такимъ же образомъ можетъ быть получена зависимость силы тяги Z

отъ величины $u_i = \frac{d^2 l}{2D}$, при чемъ $u_i = \frac{1}{m} u_i$. Если, съ другой стороны, предположить объемы цилиндровъ разныхъ типовъ паровозовъ одного и того же назначенія пропорціональными объемамъ пара, расходимаго въ часъ паровознымъ котломъ, т. е. величинамъ $\frac{Hk}{\gamma} = \frac{Hk}{0,5p}$, то предыдущее вы-

*) Необходимо имѣть въ виду, что это положеніе представляетъ чисто теоретическій выводъ изъ формулы Leitzmann'a, нуждающійся въ опытной проверкѣ.

раженіе для силы тяги Z приметъ видъ:

$$Z = 100^2 n \frac{Hk}{50} \left(a - 1000 \frac{n}{m} bv + 1000^2 \frac{n^2}{m^2} cv^2 \right).$$

Полученное выраженіе показываетъ, что при однѣхъ и тѣхъ же скоростяхъ, величины силы тяги, а слѣдовательно и измѣрители работы паровозовъ относятся, какъ произведенія поверхности нагрѣва и ея напряженности, т. е.

$$\frac{Qv}{Q_1v} = \frac{Z}{Z_1} = \frac{Hk}{H_1k_1}.$$

Такъ какъ въ дѣйствительности величины $u_i = \frac{d_i^2 l}{2D}$ и $u_{ii} = \frac{d_{ii}^2 l}{2D}$ могутъ измѣняться иначе, то для точныхъ подсчетовъ необходимо каждый разъ прибѣгать къ построению кривыхъ измѣрителей работы паровозовъ, какъ сказано выше. Съ другой стороны, объемы цилиндровъ обычно берутся пропорціонально величинѣ поверхности нагрѣва и ея напряженности. *) Поэтому дѣйствительныя значенія отношеній измѣрителей работы разнаго типа паровозовъ при однѣхъ и тѣхъ же скоростяхъ находятся въ предѣлахъ значеній отношеній:

$$\frac{Hk}{H_1k_1} \text{ и } \frac{Hkr}{H_1k_1r_1}.$$

Для примѣра сравнимъ измѣрители работы паровозовъ: нормальнаго compound русскихъ казенныхъ ж. д. и типа Восточно-Китайской ж. д. (онъ же Владикавказской сер. 0)...

Главные размѣры послѣдняго приняты слѣдующіе:

d_1	0,765	H	190
d_2	0,510	H_0	206
l	0,700	k_{max}	43
D	1,300	p_0	14

*) „Паровозы“ Блюмъ, ф. Боррисъ и Баркгаузенъ стр. 64.

Полезный (сцѣпной вѣсъ)	61,4
Полный вѣсъ въ рабочемъ состояніи .	74
Вѣсъ тендера	53,5.

Сила тяги этого паровоза по предыдущему можетъ бытъ выражена:

$$Z = 100^2 u_i \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\alpha} v + \frac{c}{\alpha^2} v^2 \right).$$

$$u_{ii} = \frac{d_i^2 l}{2D} = \frac{0,510^2 \times 0,700}{2 \times 1,300} = 0,070,$$

$$u_i = \frac{d_i^2 l}{2D} = 0,1575,$$

$$\alpha = \frac{Hk}{1000 u_{ii}} = \frac{190 \times 43}{70 \times 7,40} = 15,77,$$

$$a = 73,2, \quad b = 21,76, \quad c = 2,133. \quad *)$$

$$Z = 17294 - 326v + 2,02v^2.$$

*) Значенія коэффициентовъ a , b и c вьзяты тѣ-же, что и для нормальнаго паровоза, какъ вообще примѣняемые для товарныхъ паровозовъ compound съ отношеніемъ объемовъ цилиндровъ 1:2—1:2,25. Если, пользуясь этими значеніями коэффициентовъ, вычислить среднія индикаторныя давленія для разныхъ отсѣчекъ и соответствующихъ вѣростей по формулѣ $p_i = \frac{p_0 + 1}{100} \left(a - \frac{b}{\epsilon} + \frac{c}{\epsilon^2} \right)$, то таковыя весьма близки къ значеніямъ, даваемымъ Боррисомъ на основаніи обширнаго числа диаграммъ для паровозовъ compound, что усматривается изъ слѣдующей таблицы:

отсѣчка ϵ	$\frac{p_i}{p_0}$ вычисленное	$\frac{p_i}{p_0}$ по Боррису
0,30	0,261	0,258
0,40	0,340	0,330
0,50	0,408	0,400
0,60	0,469	0,468
0,70	0,500	0,505
0,80	0,530	0,538

Значеніе критической скорости выразится

$$v = \frac{B - \sqrt{B^2 - 3AC}}{3C} = 47,5 \text{ km.}$$

$$N_{max} = 1101,4 \text{ HP.}$$

$$q_{min} = 7,41 \text{ kg.}$$

Сравнительныя величины силы тяги даны въ таблицѣ:

Скорость km h	Нормальн. паровозъ рус. клас. ж. д. (k = 40)		Товари. паровозъ В.-Китайской ж. д. (k = 43)		Отношеніе измѣрите- лей работы паровозовъ	$\frac{H_k}{H_1 k_1}$	$\frac{H_{kr}}{H_1 k_1 P_1}$
	индикаторн. сила тяги	полезная сила тяги	индикаторн. сила тяги	полезная сила тяги			
20	8178	7488	11578	10598	1,42		
30	6313	5443	9332	8092	1,49	1,43	1,71
40	4882	3812	7486	5976	1,57		

Изъ этой таблицы усматривается, что измѣритель работы паровоза В.-Китайской ж. д. больше въ среднемъ на 45% въ предѣлахъ среднихъ скоростей отъ 20 до 30 километровъ. Такъ какъ мы ранѣе показали, что провозная способность дороги при прочихъ равныхъ условіяхъ пропорціональна измѣрителю работы паровоза, то можно сказать, что провозная способность дороги при тягѣ поѣздовъ паровозами Восточно-Китайской дороги увеличивается на 45%, имѣя въ виду, что при точныхъ расчетахъ необходимо было бы построить кривыя измѣрителей, выраженныхъ въ вагоно-единице-верстахъ, и взять отношеніе ихъ максимумовъ.

Зависимость измѣрителей работы паровоза отъ про-
филя участка и добавочныхъ сопротивлений отъ
погоды.

Зависимость измѣрителя работы паровоза отъ величины
подъема и скорости выражается уравненіемъ:

$$Qv (\alpha + \beta v + \gamma v^2) = Av - Bv^2 + Cv^3,$$

$$\text{гдѣ } \alpha = \alpha_0 + i.$$

При одной и той же скорости на разныхъ подъемахъ
эта зависимость выражается равнобокой гиперболой (рис. 16).
откуда слѣдуетъ, что измѣритель работы паровоза обратно
пропорціоналенъ общему сопротивленію поѣзда движенію.
Измѣненіе наибольшихъ значеній измѣрителя въ зависимости
отъ подъемовъ подчиняется другому болѣе сложному закону,
и протѣ всего находится путемъ графическихъ построений.
Измѣненіе наибольшихъ значеній измѣрителя работы нормаль-
наго товарнаго паровоза рус. казенныхъ ж. д. можетъ быть
охарактеризовано въ слѣдующей таблицѣ:

Подъемъ	Наибольшій измѣритель работы паровоза	Отношеніе измѣри- телей	Отношеніе варіуа- нахъ коэф- фициентовъ
0	2439	1	1
2	1420	$\frac{1}{1,717}$	$\frac{1}{1,654}$
4	945	$\frac{1}{2,581}$	$\frac{1}{2,302}$
6	687	$\frac{1}{3,551}$	$\frac{1}{2,943}$
8	522	$\frac{1}{4,672}$	$\frac{1}{3,517}$

Такъ какъ на одномъ и томъ же участкѣ дороги сопротивленіе поѣзда движенію (въ килогр. на 1 тонну вѣса), измѣняется также въ зависимости отъ состоянія погоды (температуры и вѣтра), то наибольшія значенія измѣрителя работы паровоза для одного и того же участка при прочихъ равныхъ условіяхъ могутъ колебаться въ нѣкоторыхъ предѣлахъ въ зависимости отъ измѣненія погоды. Добавочное сопротивленіе отъ вліяній температуры и вѣтра можетъ быть приравнено къ сопротивленію отъ нѣ котораго эквивалентнаго подъема i , что видно изъ нижеслѣдующей таблицы:

Температура по Цельсію.	Сопротивленіе въ kg на 1t поѣзда	Скорость вѣтра $\frac{\text{km}}{\text{h}}$	Сопротивленіе отъ вѣтра въ kg на 1t поѣзда при вѣсѣ вагоновъ 19 $\frac{1}{2}$ t
+15	0	20	0,09
0	0,2	40	0,37
-15	0,4	60	0,82
-30	0,6	80	1,48
		100	2,31
		120	3,36

Добавочное сопротивленіе отъ температуры и вѣтра зимой Инженернымъ Совѣтомъ принято для воинскаго поѣзда приравнивать сопротивленію, представляемому подъемомъ въ 0,001.

Стоимость часа работы паровозовъ въ товарныхъ поѣздахъ (паровозо-часа малой скорости).

Чтобы составить представленіе о тѣхъ расходахъ, которые входятъ въ стоимость каждаго часа работы паровозовъ, возьмемъ отчеты русскихъ казенныхъ желѣзныхъ дорогъ и

просмотрим весь V Отдѣлъ этихъ отчетовъ, т. е. расходы по тягѣ поѣздовъ, содержанию и ремонту подвижного состава. Начиная съ очередного номера 226 по 233 включительно содержатся расходы по содержанию Управления Службы Тяги и ея конторы. Эти расходы обычно составляютъ не болѣе 3% отъ общаго расхода по отдѣлу пятому. Для приведенія этихъ расходовъ въ математическую форму, т. е. форму измѣняющихся по извѣстному закону величинъ, можно предположить, что: 1) часть расходовъ a_1 представляетъ величину постоянную, не зависящую ни отъ работы паровозовъ и вагоновъ, ни отъ числа ихъ на дорогѣ, 2) другая часть b зависитъ отъ работы паровозовъ и вагоновъ, 3) третья главная часть зависитъ отъ числа паровозовъ на дорогѣ. Что главная часть этихъ расходовъ зависитъ отъ числа паровозовъ на дорогѣ можно заключить по слѣдующимъ соображеніямъ: каждый дѣйствующій паровозъ опредѣляетъ извѣстное число исполнительныхъ агентовъ, т. е. паровозную бригаду, извѣстное квадратное содержаніе депо и соотвѣтственный персоналъ служащихъ; количество же исполнительной или непосредственно рабочей силы опредѣляетъ главнымъ образомъ величину персонала администраціи. Такимъ образомъ можно принять, что расходъ по № 226—223 включительно P_1 можно выразить какъ $a_1 + b_1 L + c_1 W + d_1 H$,

гдѣ L —паровозо-версты,

W —вагоно-единице-версты,

H —число паровозовъ.

Но, полагая инвентарный пробѣгъ паровоза $-l$, имѣемъ:

$$L = Hl$$

$$\text{и } P_1 = a_1 + c_1 W + H (d_1 + b_1 l)$$

$$P_1 = a_1 + c_1 W + c_{11} H$$

Но количество дѣйствующихъ паровозовъ H зависитъ отъ общаго количества движенія, т. е. общаго числа вагоно-еди-

нице-версть, подлежащихъ выполнению за годъ. Если предположить, что каждый дѣйствующій паровозъ въ среднемъ за годъ перерабатываетъ M вагоно-единице-версть, то общее число дѣйствующихъ паровозовъ на дорогѣ выражается, какъ $\frac{W}{M} = \Pi$. Тогда общій расходъ P_1 выразится:

$$P_1 = a_1 + c_1 W + \frac{W}{M} (d_1 + b_1 l),$$

$$\text{или } P_1 = a_1 + \left[c_1 + \frac{d_1 + b_1 l}{M} \right] W.$$

Называя $\left[c_1 + \frac{d_1 + b_1 l}{M} \right]$ черезъ b_1 ,

$$\text{имѣемъ } P_1 = a_1 + b_1 W.$$

Такимъ образомъ, расходъ по содержанию управленія службой по очер. № 226—223 можетъ быть выраженъ суммой двухъ членовъ: одного постояннаго a_1 , не зависящаго отъ общаго количества движенія, и другого $b_1 W$, прямо пропорціональнаго количеству движенія на дорогѣ, т. е. числу вагоно-единице-версть за годъ. Часть стоимости вагоно-единице-версты, зависящая отъ этихъ расходовъ, выразится:

$$p_1 = \frac{a_1}{W} + b_1.$$

Если общій расходъ по упомянутымъ очереднымъ номерамъ выразить графически, откладывая по ординатамъ величины этого расхода, а по абсциссамъ число вагоно-единице-версть, то зависимость общаго расхода отъ количества движенія выразится прямой линіей. Конечно, такое выраженіе расходовъ приблизительно, и, для простоты, мы предположили линейную зависимость расхода отъ количества движенія. Весьма возможно, что эта зависимость можетъ выражаться и пологой кривой, т. е. не линейнымъ уравненіемъ.

Исходя из уравнения $P = a_1 + b_1 W$ и имея отчеты до-
оги за несколько лѣтъ, можно найти численные значенія
остоянныхъ величинъ a_1 и b_1 изъ нѣсколькихъ уравненій.
съ полученныя значенія a_1 и b_1 необходимо для большей
вѣрности обработать методомъ наименьшихъ квадратовъ,
гобы найти наиболѣе вѣроятныя значенія этихъ коэффиціен-
товъ. При этомъ, дабы исключать вліяніе случайныхъ при-
инъ, необходимо брать такіе отчетные годы, которые бы
начительно разнились количествомъ выполненныхъ вагоно-
динице-верствъ.

Для Екатерининской ж. дор. за послѣдніе 10 отчетныхъ
исполтаціонныхъ годовъ нами найдено слѣдующее примѣр-
ное выраженіе общаго расхода по очеред. № 226—233

$$p = 56000 + 0,00035 W \text{ (въ рубляхъ).}$$

Такимъ образомъ можно выразить расходъ для одной и
той же дороги въ томъ предположеніи, что общая длина ея
те измѣняется. При увеличеніи длины дороги, а priori можно
казать, должно увеличиваться значеніе постояннаго члена a_1 ,
выраженіе общаго расхода по № 226—233 должно имѣть видъ

$$P_l = a_{1l} + b_{1l} l + c_{1l} W,$$

гдѣ l — длина дороги.

Подобнымъ же образомъ можно выразить большую часть
такъ называемыхъ общихъ расходовъ, не зависящихъ прямо
отъ количества движенія, но всетаки находящихся въ нѣкоторой
зависимости отъ послѣдняго.

Эти расходы при анализѣ общей стоимости вагоно-еди-
нице-версты можно не принимать въ расчетъ потому, что
они зависятъ только отъ общаго количества движенія, но не
зависятъ отъ принятыхъ нами основныхъ переменныхъ.

2. Расходы по очереднымъ № 234, 235, 236, 237, пред-
ставляютъ общіе расходы по содержанію паровозныхъ бригадъ.

Эти расходы въ суммѣ составляютъ обычно около 6—7% отъ V Отдѣла.

Эти расходы принято выражать въ прямой зависимости отъ общаго пробѣга паровозовъ.

3. Очередные №№ 238—240 представляютъ квартирные расходы по тягѣ поѣздовъ и составляютъ около 0,5% общаго итога по V отдѣлу.

4. Очередные №№ 241—242 представляютъ содержаніе и возобновленіе инвентарнаго имущества дежурныхъ комнатъ и паровозныхъ сараевъ.

5. Очередные №№ 243—245 представляютъ расходы по отопленію, освѣщенію и содержанію въ чистотѣ паровозныхъ сараевъ и дежурныхъ комнатъ около 0,2% V отдѣла.

6. Очередные №№ 246 и 247 представляютъ расходъ на топливо и на премію за сбереженіе топлива. Эта группа расходовъ наибольшая и составляетъ около 30%—35% V отдѣла.

Исходя изъ этихъ номеровъ, можно за каждый годъ подсчитать общую стоимость пуда топлива.

7. Очередной № 248 представляетъ освѣщеніе паровозовъ, 0,15% V отдѣла.

8. Очередные №№ 249—250 представляютъ расходы на смазку, около 0,9% V отдѣла.

9. Очередные №№ 251—252 представляютъ расходы на чистку паровозовъ и тендеровъ и промывку котловъ паровозовъ, около 1,2% V отдѣла.

10. Очередные №№ 252—261 представляютъ расходы на снабженіе паровозовъ водой и составляютъ около 3% V отдѣла.

11. Очередные №№ 262—279 представляют расходы по содержанию вагоновъ и въ стоимость паровозо-версты или паровозо-часа не входятъ, о нихъ мы будемъ говорить ниже. 5—6% V отдѣла.

12. Очередные №№ 282—297 представляютъ расходы по содержанию главныхъ мастерскихъ и мастерскихъ при депо для ремонта подвижного состава. Они составляютъ около 5—6% V отдѣла.

13. Очередные №№ 293—299 представляютъ расходы по ремонту паровозовъ и тендеровъ. Послѣ расходовъ на топливо, это самая крупная группа расходовъ и составляетъ около 24—25% V отдѣла.

14. Очередные №№ 300—305 и вмѣстѣ съ тѣмъ послѣдніе по V отдѣлу представляютъ расходы по ремонту вагоновъ (12—14% V отдѣла).

Разсматривая всѣ 14 группъ расходовъ по V отдѣлу, видимъ, что непосредственно къ тягѣ поѣздовъ, а слѣдовательно работѣ паровозовъ, относятся группы 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 10 и 13, что составитъ 70—72% отъ общаго итога по V отдѣлу.

Изъ этихъ группъ необходимо только исключить нѣкоторыя №№ по ихъ незначительности или по тому, что они не относятся непосредственно къ тягѣ поѣздовъ, таковы напр. очер. №№ 235, 238, 239, 240, 241, 243, что составитъ не болѣе 2—1, 5% отъ V отдѣла.

О группѣ расходовъ 1 было сказано.

О группѣ расходовъ 12 можно сказать то же самое.

Группы 11 и 14 представляютъ расходъ на вагоны и къ работѣ паровозовъ не относятся (около 18% V отдѣла).

Такимъ образомъ, если взять только тѣ группы расходовъ, которые непосредственно относятся къ тягѣ поѣздовъ, т. е. 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 и 13 съ упомянутыми выключеніями, то сумма этихъ группъ представить во всякомъ случаѣ не менѣе 70% всѣхъ расходовъ по V отдѣлу отчетовъ и смѣты. На основаніи этихъ данныхъ можно составить слѣдующую вѣдомость расходовъ, отнесенныхъ на паровозо-версту или поѣздо-версту пробѣга. При составленіи этой вѣдомости необходимо имѣть въ виду, что для точности необходимо было бы выдѣлять по отдѣльнымъ номерамъ сначала расходы на пассажирскій, маневровый и резервный пробѣгъ, а остатокъ уже дѣлить на паровозо-версты малой скорости. Въ прилагаемой вѣдомости такъ сдѣланъ 1899 годъ, остальные же годы 1900 и 1901 г. даны по общему пробѣгу.

Расходъ на поѣздо-версту данъ въ двухъ числахъ: первые представляютъ расходъ на часъ работы паровоза въ поѣздахъ, вторые—расходъ на часъ работы собственно паровоза при одиночномъ пробѣгѣ.

Вѣдо
расходовъ по V от
на паровозо-версту общаго
для Екатеринбургской до

Отдѣлъ	Глава	Статья	§	Очередной номеръ	Наименованіе расходовъ	К о п е й н и		
						1901 г.	1900 г.	1899 г.
V	2	1	1	234	Окладное содержаніе машинистовъ и ихъ помощниковъ, на паровозо-версту общаго пробѣга	2,570	2,580	2,465
—	—	2	—	236	Поверстныя и суточные деньги паровознымъ бригадамъ на паровозо-версту общаго пробѣга	3,210	3,590	3,002
—	—	3	—	237	Обмундированіе и обмундировочныя деньги служащимъ по тягѣ поѣздовъ на паровозо-версту общаго пробѣга	0,010	0,005	0,008
—	—	5	2	242	Содержаніе инвентарнаго имущества паровозовъ на паровозо-версту общаго пробѣга	0,120	0,121	0,120
—	2	7	1	246 247	Топливо для паровозовъ и премія за сбереженіе топлива на поѣздо-версту общаго пробѣга	12,557	12,672	8,730
—	—	—	2	248	Освященіе паровозовъ на паровозо-версту общаго пробѣга	0,0680	0,0720	0,0662
—	—	8	—	249 250	Смазка паровозовъ и тендеровъ, смазочные матеріалы и премія на паровозо-версту общаго пробѣга	0,2900	0,2670	0,2663

МОСТЬ

дѣлу отнесенныхъ

пробѣга и поѣздо-версту,

роги за 1899, 1900 и 1901 г.

П Р И М Ъ Ч А Н І Е

Къ № 234—Точный расходъ на паровозо-версту получается дѣленіемъ части расхода по № 234, приходящейся на содержаніе машинистовъ товарныхъ поѣздовъ на общій пробѣгъ паровозовъ въ товарныхъ поѣздахъ и резервомъ. Приближенный расходъ получается дѣленіемъ расхода по № 234 на общій пробѣгъ паровозовъ во всѣхъ поѣздахъ и резервомъ.

Къ № 236—Расходъ на паровозо-версту получается такъ же, какъ и въ предыдущемъ.

Къ № 237—Расходъ на паровозо-версту получается дѣленіемъ расхода по № 237 на общій пробѣгъ паровозовъ.

Къ № 242—Расходъ получается такъ же, какъ по № 237

Расходъ на поѣздо-версту по №№ 246 и 247 получается такимъ образомъ: общій расходъ по этимъ №№ дѣлится на общій пробѣгъ паровозовъ въ поѣздахъ и одиночно и множится на коэффициентъ α , который для Екатерининской дороги составитъ 1,18. Этотъ коэффициентъ получается на основаніи слѣдующихъ соображеній: при одиночномъ пробѣгѣ паровозъ, при скорости v_p въ часъ на перегонѣ, расходуетъ топлива меньше, чѣмъ при пробѣгѣ въ поѣздахъ, во столько разъ, во сколько средній часовой расходъ пара при одиночномъ пробѣгѣ меньше средняго часового расхода пара при работѣ паровоза въ поѣздахъ.

Ниже будетъ опредѣлено, что средній часовой расходъ пара при маневровой работѣ составляетъ по нормѣ около 550 килограммовъ, а средній часовой расходъ пара при одиночномъ пробѣгѣ около 1760 килограммовъ.

Въ 1901 году сдѣлано 4,330,000 верстъ маневроваго пробѣга, или 866,000 часовъ маневровой работы, считая, что 1 часъ маневровъ равенъ 5 верстамъ маневроваго пробѣга.

Одиночнаго пробѣга въ то же время сдѣлано 1,370,000 верстъ или 39140 часовъ, считая среднюю скорость одиночнаго пробѣга въ 35 верстъ.

Средній часовой расходъ пара для маневроваго и одиночнаго пробѣга опредѣляется:

$$\frac{550 \times 866.000 + 1760 \times 39140}{905.140} = \infty 600 \text{ килогр.}$$

Отдѣлъ	Глава	Статья	§	Очередной номеръ	Наименованіе расходовъ	К о п е й к а		
						1901 г.	1900 г.	1899 г.
V	2	8	2	251	Чистка паровозовъ и тендеровъ и промывка котловъ на поѣздо-версту общаго пробѣга	0,5760	0,5773	0,4954
—	—	—	—	252	Окладное содержаніе машинистовъ, кочегаровъ, сторожей при водоемныхъ и водопод. зданіяхъ на поѣздо-версту общаго пробѣга	0,0043	0,0038	0,0038
—	—	—	—	253	Отопленіе помѣщеній водокач. машинистовъ и помѣщеній для паровыхъ машинъ, отопленіе паровыхъ котловъ, резервуаровъ и нагрѣваніе путевыхъ крановъ для снабженія паровозовъ водою на поѣздо-версту общаго пробѣга	0,6784	0,691	0,504
—	—	—	—	256	Смазка и чистка машинъ и насосовъ и расходъ по очисткѣ котловъ водокач. машинъ и котловъ отъ накипи на поѣздо-версту общаго пробѣга	0,0179	0,0179	0,0205
V	5	1	—	257	Исправленіе и возобновленіе котловъ, машинъ, насосовъ и иныхъ аппаратовъ водоснабженія на поѣздо-версту общаго пробѣга	0,2432	0,1664	0,1705
—	—	—	—	258	Расходы по химической очисткѣ воды на поѣздо-версту общаго пробѣга	0,0691	0,0742	0,0660

П Р И М Ъ Ч А Н И Е

Средняя скорость маневрового и одиночного пробѣга

$$\frac{5.700.000}{905.140} = 6,30 \text{ вер.}$$

Расходъ пара на версту маневрового и одиночного пробѣга

$$\frac{600}{6,30} = 95.$$

Расходъ пара на поѣздо-версту $\frac{3250}{18} = 181.$

Отношеніе расхода на поѣздо-версту къ расходу на версту одиночного и маневрового пробѣга составитъ $\frac{95}{181} = 0,50$

Обозначая число поѣздо-верствъ черезъ P , а расходъ по очер. №№ 246 и 247 черезъ A , дѣйствительный расходъ топлива на поѣздо-версту получимъ $\frac{A}{P + 0,42 \times 0,50 P} = \frac{A}{1,21 P}$, гдѣ 0,42 составляетъ отношеніе пробѣга паровозовъ безъ поѣздовъ къ пробѣгу въ поѣздахъ.

А расходъ на поѣздо-версту выражается какъ:

$$\frac{A}{1,42P}.$$

Слѣдовательно дѣйствительный расходъ топлива на поѣздо-версту составитъ $\frac{1,42}{1,21} = 1,18$ расхода на общую паровозо-версту, каковой расходъ дается по отчетамъ и смѣтамъ. Поэтому, для получения расхода на поѣздо-версту расходъ на паровозо-версту общаго пробѣга множится на коэффициентъ 1,18.

Такимъ же образомъ вычислены всѣ остальные расходы, отнесенные на поѣздо-версту.

По очередному № 298 (ремонтъ паровозовъ) 50% расхода относятся на поѣздо-версту, а остальные 50% на паровозо-версту общаго пробѣга на слѣдующемъ основаніи: ремонтъ паровозовъ состоитъ изъ трехъ главныхъ частей: 1) ремонтъ котловъ; 2) ремонтъ механизма; 3) окраска. Можно положить, что износъ котловъ прямо пропорціоналенъ количеству испаренной воды. Стоимость ремонта котловъ составляетъ около 40—45% общей суммы ремонта паровозовъ.

Отрядъ	Глава	Статья	§	Очередной номеръ	Наименованіе расходовъ	К о п е й к и		
						1901 г.	1900 г.	1899 г.
V	5	1	—	298	Возобновленіе и исправленіе паровозовъ именно:			
					а) большой ремонтъ товарныхъ паровозовъ	4,6534 (50% на	4,7300 повздо-	4,2400 версту
					б) малый ремонтъ	3,6400 (50% на	3,7020 паровозо-	3,3200 версту
					в) ремонтъ и замѣна осей колесъ и бандажей на паровозо-версту	0,4000	0,3900	0,3863
				299	а) большой ремонтъ тендеровъ на паровозо-версту	0,5913	0,6730	0,5624
					б) малый ремонтъ на паровозо-версту	0,4182	0,3883	0,3225
					в) замѣна колесъ тендера на паровозо-версту	0,0786	0,0830	0,0947

П Р И М Ъ Ч А Н І Е

Ремонтъ механизма составляетъ 55—60% общей суммы ремонта паровозовъ.

Износъ механизма главнѣйше зависитъ отъ пробѣга, отчасти отъ скорости. Но часть износа механизма обуславливается нагрузкой машины, т. е. количествомъ получаемыхъ лошадиныхъ силъ въ секунду. Полагая, что работа паровоза пропорциональна расходу пара (воды), можно сказать, что часть износа механизма пропорциональна расходу работы или пара паровозомъ. Вліяніемъ скорости на износъ механизма въ предѣлахъ колебаній скорости отъ 20 до 30 верстъ можно пренебречь.

Стоимость окраски составляетъ около 1,5—2% общей стоимости ремонта. Износъ окраски пропорционаленъ времени нахождения паровоза въ работѣ.

Поэтому для нашихъ примѣрныхъ расчетовъ принято 50% стоимости всего ремонта паровозовъ относить на работу паровоза, а 50% на пробѣгъ.

Расходъ по № 299 (ремонтъ тендеровъ) отнесенъ на паровозо-версту общаго пробѣга на основаніи того предположенія, что износъ тендера, какъ и всякаго вагона, пропорционаленъ главнымъ образомъ пробѣгу.

Для перехода къ стоимости паровозо-часа малой скорости—тѣ расходы, которые зависятъ отъ времени нахождения паровоза въ работѣ, внѣ зависимости отъ того, работалъ ли паровозъ на перегонѣ, или стоялъ на станціи, множатся на среднюю коммерческую скорость движенія поѣздовъ, а тѣ расходы, кои почти (но несовсѣмъ) только зависятъ отъ работы паровоза на перегонѣ, множатся на среднія скорости на перегонахъ. Среднія коммерческія скорости для Екатерининской дороги даны на основаніи данныхъ статистики пробѣга вагоновъ за эти три года, среднія перегонныя скорости взяты по нормамъ скоростей или времени въ пути на перегонахъ для всей Екатерининской дороги составляютъ для нечетныхъ поѣздовъ 15,88 вер., для четныхъ—15,77. Въ среднемъ для подсчетовъ за оба года принято 16,00 вер. Надо имѣть въ виду, что для точнаго нахождения среднихъ скоростей на перегонахъ за отчетные годы необходимо было бы вести специальный учетъ, который, насколько намъ извѣстно, ни одна дорога не ведетъ. А потому такихъ матеріаловъ нѣтъ, и приходится предполагать, что поѣзда на перегонахъ за отчетные годы шли со скоростью, выработанной росписаніемъ и помноженной на коэффициентъ $\beta > 1$. Это объясняется тѣмъ, что росписаніе, какъ извѣстно, составлено для предѣльнаго состава. Между тѣмъ за отчетный годъ можно принять, что поѣзда слѣдовали все время съ среднимъ составомъ. Но полагая приблизительно, что скорости обратно пропорціональны составамъ, имѣемъ $\frac{v_1}{v} = \frac{n}{n_1} = \beta$, откуда $v_1 = \beta v$. Для Екатерининской дороги β взято за 1901, 1900 и 1899 г. $\frac{36}{32} = 1,125$.

Для того чтобы получить точно коэффициентъ β за отчетный годъ, необходимо всю линію разбить на участки по пре-

дѣльнымъ составамъ, умножить каждый предѣльный составъ на число поѣздо-верстъ, сдѣланныхъ за годъ на участкѣ, всѣ произведенія сложить и сумму раздѣлить на общее число поѣздо-верстъ. Тогда получимъ средній предѣльный составъ для дороги за годъ. Отношеніе средняго предѣльнаго состава къ среднему дѣйствительному, взятому изъ отчета, дастъ коэффициентъ β . Нетрудно убѣдиться, что это положеніе настолько близко къ дѣйствительности, что вводить специальный учетъ для этой цѣли не имѣетъ смысла.

Очередные №№ первой вѣдомости предварительно сведены по соответствующимъ группамъ: 1) №№ 234, 237, 242 и 243—зависящіе отъ времени, множатся на коммерческія скорости; 2) № 236—поверстныя деньги паровознымъ бригадамъ, расходъ, зависящій отъ работы паровоза на перегонѣ; 3) № 246, 247 топливо, какъ отдѣльно стоящій расходъ, пропорціональный расходу воды,—множится на перегонную скорость; 4) №№ 251, 252, 253, 256, 257, 258, и 50% № 298—расходъ пропорціоналенъ расходу воды и представляетъ снабженіе паровозовъ водой и 50% ремонта паровозовъ, за исключеніемъ колесныхъ работъ. Множитель—перегонная скорость; 5) №№ 249, 250, 50% № 298, № 299—расходы, пропорціональные пробѣгу. Множитель—перегонная скорость.

Вѣдомость стоимости часа работы паровозовъ въ товарныхъ поѣздахъ Екатеринбургской ж. д. за 1901, 1900 и 1899 г.г.

Очередные № №	В Т Ъ К О П Е Й К А Х Ъ						
	На паровозо-верету или поѣздо-верету			На паровозо-часть или поѣздо-часть			
	1901 г.	1900 г.	1899 г.	1901 г.	1900 г.	1899 г.	
	Средняя скорость на переговѣ товарныхъ поѣздовъ			18,00	18,00	18,00	Принято при расчетѣ
	Средняя коммерческая скорость товарныхъ поѣздовъ			11,30	10,50	10,00	
234	2,7680	2,7780	2,6588	31,2734	29,1795	26,59800	31,28
237							
242							
248	(множатся на среднюю коммерческую скорость)						
236	3,2100	3,5900	3,0020	57,7800	64,6200	54,0360	57,78
	(множатся на среднюю скорость на переговѣ)						
246	12,557	12,672	8,730	226,026	228,096	157,100	226,03
247							
251	(множатся на среднюю скорость на переговѣ)						
252							
253							
256	6,2423	6,2606	5,4916	112,3614	112,6908	98,9388	112,36
257							
258	(множатся на среднюю скорость на переговѣ)						
298 (50%)							
249	5,4181	5,5033	4,5659	98,6258	99,0594	82,1862	98,60
250							
298	(множатся на среднюю скорость на переговѣ)						
299 (50%)							

Для того, чтобы перейти отъ стоимости паровозо-часа къ составнымъ частямъ стоимости вагоно-единице-версты будемъ разсуждать такимъ образомъ: расходъ топлива пропорціоналенъ, какъ мы показали, расходу пара. Следовательно, если паровозъ за часъ своей работы сжигаетъ топлива на T коп. (226,03), а въ среднемъ расходуетъ H_k ки-

килограммовъ пара въ часъ, то стоимость килограмма пара будетъ $\frac{T}{Hk_0}$. Для нормальнаго товарнаго паровоза при условіяхъ Екатерининской дороги, какъ мы увидимъ ниже, это составитъ $\frac{T}{Hk_0} = 0,07$ копейки за 1901 годъ при средней цѣнѣ угля 9,145 к. за пудъ.

Покажемъ теперь способъ нахождения величины $\frac{T}{Hk_0}$ и отношенія $\frac{Hk}{Hk_0}$, т. е. отношенія наибольшей напряженности поверхности нагрѣва къ средней, по эксплуатационнымъ отчетамъ желѣзныхъ дорогъ. На каждой дорогѣ существуютъ выработанныя нормы расхода топлива на паровозо-версту малой скорости и вагоно-единице-версту такой же скорости.

Имѣя средній годовой составъ и среднюю годовую норму (среднюю изъ лѣтней и зимней), можно разчитать примѣрно расходъ на поѣздо-версту и помножить его на коэффициентъ сбереженія топлива ϵ . Коэффициентъ сбереженія можно найти такимъ путемъ: Израсходовано на топливо въ 1901 г. 1.925,000 р. Уплачено преміи за сбереженіе топлива 98,000 р.

Коэффициентъ сбереженія $\frac{1,925}{1,925 + 2 \times 98} = 0,92$.

Для Екатерининской дороги расходъ на поѣздо-версту въ 1901 г. составитъ

$$535 \times \frac{1}{1000} + 30 \times 32,12 \times \frac{1}{1000} = \frac{1498,60}{1000} = 1,5 \text{ пуд.}$$

А на поѣздо-часъ по нормѣ

$$1,5 \times 18 = 27 \text{ пудовъ.}$$

А дѣйствительный расходъ на поѣздо-часъ

$$27 \times 0,92 = 24,84 \text{ пуда.}$$

При эксплуатационной стоимости угля за 1901 годъ въ 9,145 коп. пудъ составитъ—227,162 коп. Мы же получили совершенно другимъ путемъ стоимость топлива на поѣздо-часъ въ 226,03 коп. Слѣдовательно расходъ угля въ килограммахъ на поѣздо-часъ въ среднемъ получится

$$24.8 \times 16,38 = 406,88 \text{ килогр.}$$

Полагая, что килограммъ угля испаряетъ въ среднемъ 8 килограммовъ пара, средней часовой расходъ пара за годъ получимъ

$$406,88 \times 8 = 3255 \text{ килограммовъ.}$$

Слѣдовательно каждый килограммъ пара обходится $\frac{226,03}{3255} = 0,07$ копейки. Отношене средней напряженности поверхности нагрѣва къ наибольшей напряженности нормального товарнаго паровоза составитъ $\frac{k}{k_0} = \frac{3255}{5680} = 0,57$.

Надо имѣть въ виду, что средняя напряженность поверхности нагрѣва, получаемая изъ годовыхъ отчетовъ, представляетъ среднюю величину для всѣхъ типовъ паровозовъ, находящихся на дорогѣ.

Можно указать еще нѣсколько методовъ нахождения этихъ величинъ, но самый вѣрный, конечно, заключается въ опредѣленіи этихъ величинъ путемъ специальныхъ опытовъ.

Часть стоимости паровозо-часа по четвертой группѣ расходовъ, т. е. главнѣйше ремонту паровозовъ, снабженію паровозовъ водой, и промывкѣ котловъ, можно считать также пропорціональной количеству производимой паровозомъ работы, т. е. пропорціональной расходу пара. Это положеніе въ предѣлахъ практическихъ расчетовъ можно считать вполне правильнымъ. Тогда, если часть стоимости паровозо-часа по этой группѣ

расходовъ будетъ P (112,36 к.), то стоимость килограмма пара въ зависимости отъ этой группы расходовъ составитъ $\frac{P}{Hk_0}$. Для Екатерининской дороги эта величина по 1901 эксплуатационному году составитъ:

$$\frac{112,36}{3255} = 0,035 \text{ копейки.}$$

2-я группа расходовъ вѣдомости № 2, т. е. поверстныя паровознымъ бригадамъ, представляетъ расходы, зависящiе отъ продолжительности перегонной работы паровозовъ, и даетъ составную часть стоимости вагоно-единице-версты слѣдующимъ образомъ: если обозначить стоимость паровозо-часа по этой группѣ расходовъ черезъ Π'_n , среднюю скорость на перегонѣ черезъ v , а составъ черезъ n , то расходъ приходящiйся на 1 вагоно-единице-версту выразится

$$\frac{\Pi'_n}{vn} = \Pi_n \text{ *)}$$

для Екатерининской дороги примемъ:

$$\frac{3,21}{32} = 0,100 \text{ копейки.}$$

Часть стоимости паровозо-часа, по группѣ 1-й расходовъ, зависящая отъ времени, разложится на вагоно-единице-версту слѣдующимъ образомъ: если обозначить среднюю скорость на перегонахъ черезъ v составъ черезъ n , а эту часть стоимости паровозо-часа по этой группѣ расходовъ черезъ \mathcal{H}_n , то, очевидно расходъ на 1 поѣздо-версту составитъ

$$\frac{\mathcal{H}_n}{v} = \frac{\mathcal{H}_n}{v}$$

*) Въ нашемъ дальнѣйшемъ расчетѣ мы будемъ предполагать, что поверстныя паровознымъ и кондукторскимъ бригадамъ назначаются не по пробѣгу, а по количеству сработанныхъ въ поѣздахъ бригадами вагоно-единице-верстъ. Существующий же порядокъ уплаты поверстныхъ за пробѣгъ въ расчетъ мы принять не могли, какъ принципиально неправильный, дабы это не влiяло на результаты выводовъ.

а на 1 вагоно-единице-версту $\frac{H_n^c}{vn}$.

Для Екатерининской дороги за 1901 годъ это составитъ $\frac{31,28}{vn}$.

Пятая группа расходовъ, зависящая только отъ пробѣга, разложится на вагоно-единице-версту слѣдующимъ образомъ: Если стоимость паровозо-версты по этой группѣ расходовъ обозначить черезъ C_{np} , то расходъ на вагоно-единице-версту выразится

$$\frac{C_{np}}{n}$$

Для Екатерининской дороги примемъ

$$\frac{5,420}{n}$$

Часть стоимости вагоно-единице-версты въ зависимости отъ поѣздной службы.

Эту часть расходовъ составляютъ очередные №№ 200—209 IV отдѣла смѣты и отчетовъ дорогъ. По тѣмъ же признакамъ зависимости отъ времени и работы поѣздовъ, они дѣлятся на двѣ группы:

1) группа расходовъ зависящихъ отъ времени. Сюда входятъ №№ 200, 204, 205, 207, 208, 209, т. е. вообще жадование и обмундировочные кондукторскимъ бригадамъ, квартирное довольствіе, содержаніе сигнальных принадлежностей.

Для Екатерининской дороги за 1900 и 1901 годы эти расходы составляютъ 3,36 на поѣздо-версту, а на поѣздо-часъ 37,970 коп. (т. е. $3,36 \times 11,3$). Такимъ образомъ, если обозначить часть стоимости поѣздо-часа по этой группѣ ра-

сходовъ черезъ $Жк$, то расходъ по этой группѣ, лежащійся на вагоно-единице-версту, выразится, какъ и раньше для паровозо-часа $\frac{Жк}{vн}$ *), а для Екатерининской дороги

$$\frac{37,97}{vн}$$

2) 2 я группа расходовъ по №№ 202 и 203 представляет неокладное содержаніе бригадамъ, т. е. поверстныя (суточные деньги изъ этого номера по незначительности не исключены, какъ слѣдовало бы, и не перенесены въ 1-ую группу).

Предполагая, какъ и ранѣе для поверстныхъ паровознымъ бригадамъ, что бригадамъ должны уплачиваться повзгонныя деньги, а не поверстныя, этотъ расходъ на вагоно-единице-версту получимъ въ видѣ постоянной величины, не зависящей ни отъ скорости, ни отъ состава. Обозначимъ ее черезъ

$Пк$.

Для Екатерининской дороги нами принято

$$Пк = 0,070 \text{ коп.}$$

Часть стоимости вагоно-единице-версты въ зависимости отъ расходовъ по ремонту и содержанію вагоновъ.

Эту часть стоимости вагоно-единице-версты составляютъ очередные №№:

264--наемъ помѣщеній и квартирныя деньги служащимъ

*) Если предполагать, что число кондукторовъ пропорціонально числу вагоновъ, то часть стоимости вагоно-единице-версты въ зависимости отъ этихъ расходовъ должна была бы выразиться

$$\frac{Ж}{v}$$

Но такъ какъ, въ предѣлахъ небольшихъ колебаній состава, число кондукторовъ остается одно и то же, то можно считать составъ кондукторской бригады постояннымъ. Къ тому же на некоторыхъ дорогахъ, какъ напр., и на Екатерининской, примѣняется полностью принципъ единства бригады по участкамъ ея оборота.

272—Расходы по содержанию складовъ запасныхъ частей.

275—Окладное содержаніе смазчиковъ вагоновъ.

276—Матеріалы для смазки вагоновъ.

301—Ремонтъ товарныхъ вагоновъ.

302—Возобновленіе и исправленіе осей колесъ и бандажей.

№№ 264 и 275—т. е. вообще жалованье и квартирные деньги смазчикамъ такъ же, какъ и подобные расходы для паровозныхъ и кондукторскихъ бригадъ, зависятъ отъ количества часовъ работы смазчиковъ въ поѣздахъ. Если этотъ расходъ на поѣздо-часъ обозначить черезъ $H_{см}$, то расходъ на вагоно-единице-версту выразится

$$\frac{H_{см}}{vn}$$

Для Екатерининской дороги примемъ

$$\frac{16,000}{vn}$$

Если соединить въ одно расходы по окладному содержанію паровозныхъ бригадъ, кондукторскихъ бригадъ и смазчиковъ, лежашіе на вагоно-единице-версту, то получимъ

$$\frac{1}{vn} [H_n + H_k + H_{см}],$$

гдѣ H_n , H_k , $H_{см}$ —расходы на жалованіе соответственнымъ агентамъ въ часъ. Такимъ образомъ мы предполагаемъ, что этотъ расходъ постояненъ для каждаго поѣздо-часа работы поѣздовъ. Слѣдовательно, соответствующая часть стоимости вагоно-единице-версты въ зависимости отъ этихъ расходовъ будетъ тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе поѣзда перерабатываютъ въ часъ вагоно-единице-версть, что и выражается множителемъ $\frac{1}{vn}$.

Можно предположить, что очередные №№ 272, 276, 301 и 302, представляющие вообще расходы на смазку и ремонт вагоновъ, зависятъ только отъ пробѣга и ложатся на вагоно-единице-версту постояннымъ расходомъ, не зависящимъ ни отъ скорости, ни отъ состава поѣздовъ. Назовемъ эту часть стоимости вагоно-единице-версты черезъ P_6 .

Для Екатерининской дороги по 1901 эксплуатационному году можно принять

$$P_6 = 0,264 \text{ коп.}$$

Выраженіе эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты.

Соединяя всё предыдущія составныя части стоимости вагоно-единице-версты въ одну сумму, получимъ общее выраженіе стоимости вагоно-единице-версты въ слѣдующемъ видѣ, сохраняя прежнія обозначенія. Стоимость вагоно-единице-версты— M

$$M = \frac{1}{vn} \left[\frac{\alpha THk}{Hk_0} + \frac{\alpha PHk}{Hk_0} + \mathcal{H}_n + \mathcal{H}_k + \mathcal{H}_c \right] + \frac{C}{n} + \Pi_n + \Pi_k + P_6.$$

Для Екатерининской дороги по 1901 г. составить:

$$M = \frac{1}{vn} [\alpha (0,070 + 0,035) Hk + 31,28 + 37,97 + 16,00] + \frac{5,420}{n} + 0,100 + 0,070 + 0,264 \text{ (въ коп.)}$$

Въ виду важности этой формулы напомнимъ обозначенія:

E l —поверхность нагрѣва котла въ квадратныхъ метрахъ,

\bar{k} — наибольшая расчетная напряженность поверхности нагрѣва въ килограммахъ пара, испаряемаго квадратнымъ метромъ поверхности нагрѣва,

- k_0 — средняя годовая напряженность поверхности нагрева в килограммах на квадратный метр,
- T — стоимость топлива, расходуемого паровозом за часть работы в товарных поездах на перегонѣ (по очер. №№ 246 и 247),
- P_n — стоимость паровозо-часа при работѣ в товарных поездах в зависимости от расходов на снабженіе паровозов водой и ремонтъ паровозов (по очер. №№ 251, 252, 253, 256, 257, 258 и 50% № 298),
- C — стоимость версты пробѣга паровозовъ и тендеровъ в зависимости от смазки и ремонта паровозовъ (частью) и тендеровъ (полностью) (по очер. №№ 249, 250 и 50% отъ № 298 и 299),
- P_n — расходъ, лежащійся на вагоно-единице-версту в зависимости отъ разъѣздныхъ и поперстныхъ паровознымъ бригадамъ (по очер. № 236),
- $Ж_n$ — жалованье и общее содержаніе паровозныхъ бригадъ, лежащееся на часть работы паровозовъ на перегонѣ и на стоянкѣ (по очер. №№ 234, 237, 242, 248),
- P_k — поперстные и разъѣздныя деньги общекондукторскимъ бригадамъ, включая и смазчиковъ, лежащіяся на вагоно-единице-версту (по очер. № 202),
- $Ж_k$ — Жалованье и общее содержаніе кондукторскимъ бригадамъ, лежащееся на часть работы поездовъ на перегонахъ и на стоянкахъ (по очер. №№ 200, 201, 205, 207, 208 и 209),
- $Ж_e$ — окладное содержаніе смазчикамъ вагоновъ, приходящееся на часть работы поездовъ (по очер. №№ 264 и 275),
- P_o — стоимость вагоно-единице-версты в зависимости отъ расходовъ на смазку и ремонтъ вагоновъ (по очер. №№ 272, 276, 301 и 302).

v — средняя скорость на перегонѣ,

n — составъ.

Для Екатерининской дороги по даннымъ 1901 эксплуатационнаго года эта формула приметъ видъ:

$$M = \frac{1}{vn} [0,105 \alpha Hk + 93,25] + \frac{5,420}{n} + 0,434 \text{ (въ коп.)}$$

Часть стоимости вагоно-единице-версты въ зависимости отъ простоевъ поѣздовъ по станціямъ.

Кромѣ всѣхъ перечисленныхъ расходовъ на каждую вагоно единице-версту относятся еще накладные расходы отъ стоянокъ по станціямъ и отъ стоимости одиночнаго пробѣга. Если назвать отношеніе средней коммерческой скорости движенія поѣздовъ v_0 къ средней скорости поѣздовъ на перегонахъ черезъ β , гдѣ β , вообще говоря, правильная дробь, то величину стоянокъ поѣздовъ по станціямъ можно выразить слѣдующимъ образомъ: на каждую версту въ среднемъ паровозъ тратитъ $\frac{1}{v_0}$ часа. Если бы не было стоянокъ, то на каждую версту паровозъ тратилъ бы $\frac{1}{v}$ часа $< \frac{1}{v_0}$. Слѣдовательно, благодаря остановкамъ, поѣздъ теряетъ на каждую версту пробѣга $\frac{1}{v_0} - \frac{1}{v} = \frac{1}{\beta v} (1 - \beta)$ часа. А на пробѣгъ v верстъ или на часъ перегонной работы поѣздъ теряетъ $\left[\frac{1}{\beta} - 1 \right]$ часа стоянокъ по станціямъ. Но такъ какъ коэффициентъ $\beta = \frac{v_0}{v}$ имѣетъ неопредѣленную зависимость, то необходимо соотвѣтственно преобразовать выраженіе $\beta = \frac{v_0}{v}$. Будемъ разсуждать слѣдующимъ образомъ: величина просто

евъ поѣздовъ по станціямъ зависитъ только отъ организаціи станціонной службы, способовъ движенія поѣздовъ и технической организаціи сношеній станцій по приему и отправленію поѣздовъ. Поэтому, величина простоевъ не можетъ находиться въ зависимости ни отъ скорости поѣздовъ, ни отъ напряженности работы поѣздовъ на перегонахъ.

При извѣстныхъ опредѣлившихся условіяхъ организаціи станціонной и технической службы и способовъ движенія поѣздовъ для данной дороги или ея отдѣльныхъ участковъ можно точно опредѣлить, на какой пробѣгъ поѣздовъ приходится каждый часъ простоевъ поѣздовъ на остановочныхъ пунктахъ.

Пусть часъ простоевъ приходится на a верстъ пробѣга поѣздовъ. Тогда на v верстъ пробѣга или на часъ работы поѣздовъ на перегонѣ придется $\frac{v}{a}$ часа простоевъ. Но ранѣе мы нашли эту величину въ видѣ $\left[\frac{1}{\beta} - 1 \right]$ часа, гдѣ $\beta = \frac{v_0}{v}$. Слѣдовательно:

$$\frac{v}{a} = \frac{1}{\beta} - 1,$$

$$\frac{1}{\beta} = \frac{v}{a} + 1,$$

$$\beta = \frac{a}{v + a}.$$

Для Екатерининской ж. д. за 1901 г.

$$\beta = \frac{v_0}{v} = \frac{11,4}{18} = 0,633, \quad \frac{1}{\beta} = \frac{1}{0,633} = 1,57,$$

$$\frac{1}{\beta} - 1 = 0,57, \quad a = \frac{18,00}{0,57} = 31,6 \text{ версты,}$$

т. е. на каждые 31,6 версты въ 1901 эксплуатаціонномъ

году приходился часъ простоевъ поѣздовъ на остановочныхъ пунктахъ.

Изъ выраженія $\beta = \frac{a}{a + v}$ видно, что увеличеніе перегонной скорости при постоянномъ значеніи a не уменьшаетъ величину коэффиціента β , а увеличиваетъ такую. Непосредственный выводъ, который можно сдѣлать отсюда, тотъ, что перегонную скорость выгодно увеличивать параллельно съ уменьшеніемъ простоевъ по станціямъ. Насколько важенъ въ общемъ эксплуатаціонномъ отношеніи этотъ элементъ простоевъ по станціямъ, мы покажемъ ниже. Стоимость стоянокъ поѣздовъ на остановочныхъ пунктахъ можетъ быть опредѣлена по слѣдующимъ статьямъ расходовъ:

1) Расходъ топлива (пара) на содержаніе пара въ котлѣ. Производство маневровъ поѣздными паровозами по общей незначительности работы этого рода, мы въ расчетъ не принимаемъ.

Расходъ топлива (пара) на стоянкахъ можетъ быть опредѣленъ опытнымъ путемъ и представленъ, какъ отношеніе эквивалентнаго расхода пара къ расходу пара при наибольшей напряженности поверхности нагрѣва κ , т. е. въ видѣ $\delta H \kappa$, гдѣ $\delta < 1$. Стоимость этого расхода можетъ быть представлена въ видѣ $\frac{\delta T H \kappa}{H \kappa_0}$.

Что касается величины δ , то такая зависить отъ рода топлива и его качества. При отопленіи антрацитомъ, какъ извѣстно, эта величина имѣетъ наибольшее значеніе, приближаясь къ единицѣ. При длиннопламенныхъ угляхъ значеніе δ , хотя и меньше, но сравнительно также велико. При отопленіи сухими углями δ имѣетъ наименьшее значеніе. При отопленіи дровами значеніе δ также не велико. При отопленіи нефтью значеніе коэффиціента δ среднее.

Части расходовъ по снабженію паровозовъ водой и ремонту котловъ, лежащія на простой поѣздовъ, выразятся такимъ же образомъ,

$$\text{т. е. } \delta \frac{P}{Hk_0} Hk.$$

Такимъ образомъ на 1 вагоно-единице версту стоимость стоянокъ по этимъ расходамъ выразится

$$\frac{1}{vn} \frac{v}{a} \delta \left[\frac{THk}{Hk_0} + \frac{PHk}{Hk_0} \right],$$

или $\frac{1}{an} \delta \left[\frac{THk}{Hk_0} + \frac{PHk}{Hk_0} \right].$

2) Расходы по содержанию паровозной и общекондукторской бригады.

Часть стоимости вагоно-единице-версты, въ зависимости отъ этой группы расходовъ, выразится:

$$\frac{1}{vn} \frac{v}{a} [H_n + H_k + H_{см}],$$

или $\frac{1}{an} [H_n + H_k + H_{см}].$

Кромѣ этихъ двухъ группъ расходовъ, остальные расходы во время стоянокъ отсутствуютъ. Такимъ образомъ общій дополнительный расходъ на вагоно-единице-версту, вслѣдствіе простоевъ поѣздовъ на остановочныхъ пунктахъ, выразится:

$$\frac{1}{an} \left[\delta \frac{T}{Hk_0} Hk + \delta \frac{PHk}{Hk_0} + H_n + H_k + H_{см} \right].$$

Разсматривая это выраженіе, мы видимъ, что накладные расходы, вслѣдствіе стоянокъ поѣздовъ, совершенно не зави-

сять отъ средней скорости поѣздовъ на перегонахъ, какъ того и слѣдовало ожидать *a priori*. Эти расходы зависятъ только отъ величины простоевъ и состава поѣзда, что тоже весьма понятно. Чѣмъ болѣе значеніе a , т. е. чѣмъ менѣе величина простоевъ, тѣмъ менѣе накладной расходъ отъ стоянокъ при одномъ и томъ же постоянномъ составѣ. Съ другой стороны, вліяніе простоевъ на стоимость вагоно-единице-версты тѣмъ менѣе, чѣмъ болѣе составъ поѣзда при одной и той же постоянной величинѣ простоевъ, такъ какъ стоимость поѣздо-часа на стоянкахъ въ этомъ случаѣ распределяется на большее число вагоновъ. Для жельззныхъ дорогъ или тѣхъ ея участковъ, гдѣ движеніе груза въ обѣ стороны равнозначно, т. е., гдѣ отсутствуетъ систематическій, одиночный пробѣгъ, общее выраженіе эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты будетъ имѣть видъ:

$$M_1 = \frac{1}{vn} \left[\alpha \frac{THk}{Hk_0} + \alpha \frac{PHk}{Hk_0} + \mathcal{H}_n + \mathcal{H}_k + \mathcal{H}_c \right] + \frac{C_{np}}{n} + \Pi_n + \Pi_k + P_c + \frac{1}{an} \left[\delta \frac{THk}{Hk_0} + \delta \frac{PHk}{Hk_0} + \mathcal{H}_n + \mathcal{H}_k + \mathcal{H}_c \right].$$

Главныя обозначенія здѣсь тѣ-же. Значеніе коэффиціента α , постояннаго для даннаго участка дороги, разобрано нами въ статьѣ о примѣненіи принципа виртуальныхъ длинъ къ отысканію наивыгоднѣйшихъ составовъ и скоростей.

Напомнимъ, что $\alpha = \frac{\gamma n + \delta (1-\gamma)}{\gamma n + \delta (1-\gamma)}$, гдѣ $\gamma = \frac{l}{l_0}$ пределяетъ отношеніе длины рабочаго профиля*) къ общей длинѣ

*) Подъ словомъ рабочей профиль будемъ разумѣть ту часть профиля участка для движенія поѣзда по которой приходится затрачивать механическую работу на вѣса, въ отличіе отъ нерабочаго профиля, по которому поѣздъ движется съ закрытымъ регуляторомъ.

участка, а n представляет отношеніе допускаемой предѣльной скорости къ средней скорости движенія поѣзда по рабочему профилю. Коэффициентъ δ представляет ту часть расхода пара (топлива) въ доляхъ наибольшаго расхода пара для даннаго паровоза, которую приходится тратить для поддержанія топки въ то время, когда регуляторъ паровоза закрытъ. Значеніе этого коэффициента нами было указано. Для даннаго топлива и при данныхъ климатическихъ условіяхъ, значеніе этого коэффициента δ можетъ быть принято постояннымъ и найдено опытнымъ путемъ. Въ выведенное нами выраженіе общей эксплуатационной стоимости вагоно-единицеверсты для случая отсутствія одиночнаго пробѣга не вошли, такъ называемые общіе расходы, имѣющие видъ $a + cW$ или $a + bl + cW$.

Вліяніе этихъ расходовъ на эксплуатационную стоимость вагоно единице-версты выразится, очевидно, добавочными членами въ общемъ выраженіи вида: X_1, X_2, X_n

$$\text{и } \frac{Y_1}{W}, \frac{Y_2}{W}, \frac{Y_n}{W} . . .$$

Вліяніе одиночнаго пробѣга на стоимость вагоно-единице-версты.

Если обозначить отношеніе одиночнаго пробѣга паровозовъ къ пробѣгу въ поѣздахъ черезъ γ , гдѣ γ —правильная дробь, а среднюю скорость движенія одиночныхъ паровозовъ на перегонахъ черезъ v_1 , то на каждый часъ работы паровозовъ въ поѣздахъ придется $\frac{v}{v_1} \gamma$ часа одиночнаго пробѣга. Такъ какъ при работѣ въ поѣздахъ паровозъ за часъ перерабатываетъ vn вагоно-единице-верствъ, то на каждую вагоно-единице-версту придется $\frac{1}{vn} \times \frac{v}{v_1} \gamma$ или $\frac{1}{v_1 n} \gamma$ часа одиночнаго пробѣга.

Въ этомъ выраженіи величины v_1 и n —переменныя, а для данного участка дороги величина постоянная, такъ какъ послѣдняя не зависитъ ни отъ скорости v_1 , ни отъ состава n .

Дѣйствительно, если для данного участка необходимо въ одну сторону выполнить A вагоно-единице-верстъ, а въ обратную сторону B вагоно-единице-верстъ, при чемъ $B < A$, то въ первую сторону придется сдѣлать $\frac{A}{n}$ поѣздо-верстъ, а въ обратную $\frac{B}{n}$ поѣздо-верстъ. Тогда, очевидно, $\frac{A}{n} - \frac{B}{n}$ представитъ количество паровозо-верстъ одиночнаго пробѣга. Но

$$\frac{\frac{A}{n} + \frac{B}{n}}{\frac{A}{n} + \frac{B}{n}} = \frac{A+B}{A+B} = 1.$$

Слѣдовательно, отношеніе одиночнаго пробѣга къ пробѣгу въ поѣздахъ не зависитъ ни отъ скорости, ни отъ составовъ поѣздовъ, *) а опредѣляется исключительно соотношеніемъ теченій груженыхъ и порожнихъ вагоновъ. Стоимость часа одиночнаго пробѣга выразится такъ же, какъ и паровозо-часа въ поѣздахъ:

$$\epsilon \frac{THk}{Hk_0} + \epsilon \frac{PHk}{Hk_0} + K_n + 4,5 P_n v_1 + C_{np} v_1.$$

Принципъ уплаты поверстныхъ, мы предполагаемъ тотъ же, что и для поѣздовъ, т. е. паровозная бригада получаетъ поверстный деньги пропорціонально количеству переработанныхъ тонно-километровъ или пудо-верстъ общаго вѣса поѣздовъ или паровозовъ. Такъ какъ отношеніе вѣса паровоза въ рабочемъ состояніи къ вѣсу вагоно-единицы въ среднемъ

*) Если средніе составы поѣздовъ въ обѣ стороны одинаковы.

можно принять равнымъ 4,5 $\left(\frac{90}{19,5}\right)$, то на каждую паровозо-версту придется въ 4,5 раза больше поверстныхъ денегъ.

Коэффициентъ ε можетъ быть всегда представленъ въ видѣ $\varepsilon = \alpha\eta$, гдѣ α имѣетъ ранѣе найденное значеніе, а η представляетъ отношеніе средней или наибольшей напряженности поверхности нагрѣва при одиночномъ пробѣгѣ къ средней или наибольшей — при работѣ паровоза въ поѣздахъ.

Дополнительный расходъ отъ стоянокъ одиночно слѣдующихъ паровозовъ на станціяхъ выразится такъ же, какъ и для поѣздовъ

$$\frac{v_1}{a} \left[\delta \frac{T}{Hk_0} Hk + \delta \frac{PHk}{Hk_0} + \mathcal{K}_n \right].$$

Такимъ образомъ общая стоимость часа одиночнаго пробѣга выразится:

$$\begin{aligned} \varepsilon \frac{THk}{Hk_0} + \varepsilon \frac{PHk}{Hk_0} + \mathcal{K}_n + 4,5 \Pi_n v_1 + C_{np} v_1 + \\ + \frac{v_1}{a} \left[\delta \frac{T}{Hk_0} Hk + \delta \frac{PHk}{Hk_0} + \mathcal{K}_n \right]. \end{aligned}$$

А на каждую вагоно-единице-версту дополнительный расходъ отъ стоимости одиночнаго пробѣга выразится:

$$\begin{aligned} \frac{\gamma}{v_1 n} \left[\varepsilon \frac{THk}{Hk_0} + \varepsilon \frac{PHk}{Hk_0} + \mathcal{K}_n \right] + \frac{\gamma}{n} [\Pi_n + C] + \\ + \frac{\gamma}{an} \left[\delta \frac{THk}{Hk_0} + \delta \frac{PHk}{Hk_0} + \mathcal{K}_n \right]. * \end{aligned}$$

Разсматривая полученное выраженіе, видимъ, что часть стоимости вагоно-единице-версты въ зависимости отъ одиночнаго пробѣга зависитъ отъ скорости одиночнаго пробѣга v_1 , и состава поѣздовъ n . Эта часть стоимости обратно про-

*) Предполагая, что оборотъ паровозныхъ бригадъ совпадаетъ съ оборотомъ общекондукторскихъ бригадъ, необходимо добавить еще члены:

$$\frac{\gamma}{v_1 n} (\mathcal{K}_k + \mathcal{K}_c) + \frac{\gamma}{an} (\mathcal{K}_k + \mathcal{K}_a).$$

порціональна величинѣ составовъ поѣздовъ и частью, по не полностью, обратно пропорціональна скорости одиночнаго пробѣга. Этотъ законъ вліянія одиночнаго пробѣга на общую стоимость вагоно-единице-версты, въ зависимости отъ величины составовъ поѣздовъ и частью скорости движенія одиночныхъ паровозовъ, имѣетъ весьма важное эксплуатационное значеніе для всѣхъ дорогъ или ихъ отдѣльныхъ участковъ съ одностороннимъ грузовымъ теченіемъ, гдѣ вліяніе одиночнаго пробѣга на эксплуатационную стоимость перевозокъ весьма велико. Къ найденному закону вліянія одиночнаго пробѣга можно подойти и *a priori*, на основаніи слѣдующихъ соображеній: чѣмъ больше составы поѣздовъ, тѣмъ меньшимъ количествомъ паровозовъ совершаются перевозки, тѣмъ менѣе и общій пробѣгъ паровозовъ. Въ зависимости отъ послѣдняго, становится тѣмъ менѣе абсолютная величина одиночнаго пробѣга. При одномъ и томъ же количествѣ исполненныхъ вагоно-единице-верстъ, тѣмъ менѣе накладной расходъ отъ одиночнаго пробѣга паровозовъ на вагоно-единице-версту. Увеличеніе средней скорости одиночнаго пробѣга также понижаетъ часть стоимости вагоно-единице-версты, зависящую отъ одиночнаго пробѣга, но не въ такой степени, какъ увеличеніе состава поѣздовъ, такъ какъ въ общемъ выраженіи этой части стоимости вагоно-единице-версты входятъ два члена (гораздо меньшіе относительно, чѣмъ первый), не зависящіе отъ скорости одиночнаго пробѣга. Такимъ образомъ, явствуется, чѣмъ болѣе одиночный пробѣгъ по дорогѣ или ея отдѣльныхъ участкахъ, тѣмъ большее значеніе для уменьшенія общей эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты пріобрѣтаетъ увеличеніе составовъ поѣздовъ. Слѣдовательно, для тѣхъ дорогъ, гдѣ движеніе грузовъ одностороннее, какъ большинство русскихъ дорогъ, особенно важное значеніе имѣетъ увеличеніе составовъ поѣздовъ потому, что это понижаетъ накладные расходы

отъ одиночнаго пробѣга паровозовъ. Обратнo, для дорогъ, гдѣ движеніе грузовъ въ обѣ стороны болѣе равномернo, увеличеніе составовъ поѣздовъ уже получаетъ меньшее значеніе.

Общее выраженіе эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты.

Соединяя въ общую сумму всё части стоимости вагоно-единице-версты, зависящія отъ стоимости работы поѣздовъ на перегонахъ, отъ стоимости простоевъ по остановочнымъ пунктамъ и стоимости одиночнаго пробѣга, получимъ слѣдующее общее выраженіе эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты:

$$M_0 = \frac{1}{vn} \left| \begin{array}{c} \alpha \frac{T}{Hk_0} Hk \\ \alpha \frac{P}{Hk_0} Hk \\ Hk_n \\ Hk_k \\ Hk_c \end{array} \right| + \frac{1}{an} \left| \begin{array}{c} \delta \frac{THk}{Hk_0} \\ \delta \frac{P}{Hk_0} Hk \\ Hk_n \\ Hk_k \\ Hk_c \\ \gamma \delta \frac{T}{Hk_0} Hk \\ \gamma \delta \frac{P}{Hk_0} Hk \\ \gamma Hk_n \\ \gamma Hk_k \\ \gamma Hk_c \end{array} \right| + \frac{\gamma}{v_1 n} \left| \begin{array}{c} \epsilon \frac{T // k}{Hk_0} \\ \epsilon \frac{P Hk}{Hk_0} \\ Hk_n \\ Hk_k \\ Hk_c \end{array} \right| + \frac{1}{n} \left| \begin{array}{c} C_{np} \\ \gamma \Pi_p \\ \gamma C_{np} \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \Pi_n \\ \Pi_k \\ P_d \\ X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \dots \\ X_n \end{array} \right| + \left| \begin{array}{c} \frac{Y_1}{W} \\ \frac{Y_2}{W} \\ - \\ - \\ - \\ - \\ \dots \\ \frac{Y_n}{W} \end{array} \right|$$

Для одного и того же участка дороги и для данного типа паровозовъ очевидно

$$M_0 = F(v, v_{max}, n, a, \gamma, v),$$

для разныхъ участковъ дороги и одного и того же типа паровоза

$$M_0 = F(i, a, v, v_{max}, n, a, \gamma, v_1).$$

Для разныхъ участковъ дорогъ и разныхъ типовъ паровозовъ:

$$M_0 = F(i, a, v, v_{max}, n, a, \gamma, v_1, H, k, p),$$

гдѣ i —общій эквивалентный подъемъ рабочаго профиля,

$$\alpha = \frac{\frac{l}{l_0} \frac{v_{max}}{v} + \delta \left(1 + \frac{l}{l_0}\right)}{\frac{l}{l_0} \frac{v_{max}}{v} + \left(1 + \frac{l}{l_0}\right)},$$

v —средняя скорость движенія поѣздовъ на перегонахъ,

v_{max} —предѣльная скорость движенія поѣздовъ,

n —составъ поѣздовъ въ вагоно-единицахъ,

a —пробѣгъ поѣздовъ, соответствующій часу простоя по станціямъ,

γ —отношеніе одиночнаго пробѣга паровозовъ къ полезному пробѣгу въ поѣздахъ,

v_1 —средняя скорость на перегонахъ одиночнаго пробѣга паровозовъ,

H —поверхность нагрѣва паровознаго котла.

k —наибольшая допускаемая напряженность поверхности нагрѣва.

Въ послѣдней вертикальной графѣ выраженія общей эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты находятся постоянные члены, не зависящіе отъ основныхъ переменныхъ. Изъ числа этихъ постоянныхъ членовъ нами приведены только три P_n, P_k, P_a , т. е. повагонныя деньги паровознымъ бригадамъ, повагонныя деньги кондукторскимъ бригадамъ и ремонтъ вагоновъ, въ тѣхъ доляхъ, въ какихъ эти расходы ложатся на вагоно-единице-версту. Въ эту же графу войдутъ тѣ части стоимости вагоно-единице-версты, которыя зависятъ отъ такъ называемыхъ общихъ расходовъ. Къ такимъ расходамъ ранѣе нами былъ отнесенъ расходъ по Управленію Службы Тяги и мастерскихъ. Сюда еще можно присоединить: расходы по содержанию Управленія Службы Эксплуатации; расходы по содержанию пути и многіе другіе расходы, которые можно выразить въ видѣ $P = a + cW$ или $P = a + bl + cW$,

гдѣ a, b, c — численные коэффициенты

W — число вагоно-единице-верствъ.

l — длина дороги.

Выраженіе эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты для Екатерининской дороги.

По даннымъ 1901 эксплуатаціоннаго года Екатерининской ж. д. выраженіе эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты приметъ слѣдующій видъ:

$$M_n = \frac{1}{vn} \begin{vmatrix} \alpha 0,07 \text{ Нк} \\ \alpha 0,035 \text{ Нк} \\ 31,28 \\ 37,97 \\ 16,00 \end{vmatrix} + \frac{1}{an} \begin{vmatrix} 0,07 \text{ Нк} \\ 0,035 \text{ Нк} \\ 31,28 \\ 37,97 \\ 16,00 \end{vmatrix} + \frac{\gamma}{v_1 n} \begin{vmatrix} \epsilon 0,07 \text{ Нк} \\ \epsilon 0,035 \text{ Нк} \\ 31,28 \\ 37,97 \\ 16,00 \end{vmatrix} + \frac{1}{n} \begin{vmatrix} 5,420 \\ 0,500 \\ 5,420 \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} 0,100 \\ 0,070 \\ 0,264 \\ X_1 \\ X_2 \\ - \\ - \\ X_n \end{vmatrix} + \begin{vmatrix} \frac{Y_1}{W} \\ - \\ - \\ \frac{Y_n}{W} \end{vmatrix}$$

Здѣсь v —средняя скорость на перегонахъ,

n —составъ поѣзда въ вагоно-единицахъ.

$$\alpha = \frac{\frac{l}{l_0} \frac{v_{max}}{v} + \delta \left(1 - \frac{l}{l_0} \right)}{\frac{l}{l_0} \frac{v_{max}}{v} + 1 - \frac{l}{l_0}}$$

Величина коэффициента α для всей дороги можетъ быть найдена вышеприведеннымъ способомъ.

Для каждаго отдѣльнаго участка коэффициентъ α также имѣетъ постоянное значеніе, разное для разныхъ участковъ, δ —доля расхода пара паровозомъ при закрытомъ регуляторѣ.

Эта величина, какъ сказано, можетъ быть найдена опытнымъ путемъ.

Для Екатерининской дороги мы найдемъ ее слѣдующимъ путемъ: по нормамъ для топлива, часъ содержанія пара приравнивается верстѣ пробѣга.

Для версты пробѣга содержанія пара на Екатерининской дорогѣ въ среднемъ назначено 600 пудовъ на 1000 паровозо-версть. Слѣдовательно часъ содержанія пара требуетъ 0,6 пуда угля = 9,83 килогр. угля = 78,64 килограмма пара.

Часъ производства маневровъ приравнивается условно 5 верстамъ пробѣга, при чемъ норма для маневого пробѣга назначена въ среднемъ 850 пудовъ на 1000 паровозо-версть.

Слѣдовательно на часъ маневровъ назначено по нормѣ 4,25 пуда угля = 69,61 килогр. угля = 557 килогр. пара.

Если сравнивать расходъ пара у работающаго въ поѣздѣ паровоза при закрытомъ регуляторѣ съ расходами пара при одержаніи пара и маневрахъ, то очевидно этотъ расходъ

ближе всего стоит къ маневровому расходу, къ тому же поѣздные паровозы отчасти производят маневры (2% отъ общаго пробѣга для Екатерининской дороги). Полагая, что расходъ нара въ часъ на рабочемъ профилѣ для Екатерининской дороги составляетъ 1, 11 средняго общаго расхода въ часъ на перегонѣ (см. ниже), величину перваго опредѣлимъ въ 3620 килогр. Слѣдовательно, коэффициентъ δ можно

$$\text{принять } \frac{557}{3620} = 0,154.$$

Необходимо помнить, что подобное приблизительное значеніе коэффициента δ выведено для Екатерининской дороги при ея сухихъ угляхъ и при ея климатическихъ условіяхъ.

$$a = \frac{v}{\frac{v}{v_0} - 1},$$

гдѣ v — средняя скорость на перегонѣ

v_0 — средняя, коммерческая скорость.

Для Екатерининской ж. д. для 1901 г. эта величина нами найдена выше и равна 32 верстамъ.

γ — Соотношеніе одиночнаго пробѣга къ пробѣгу въ поѣздахъ.

За 1901 г. для Екатерининской дороги

$$\gamma = \frac{1.367.488}{13.845.644} = \infty 0,10.$$

v_1 — Средняя скорость одиночнаго пробѣга на перегонахъ.

Для Екатерининской ж. д. v_1 можетъ быть принята въ 35 — 36 верствъ въ часъ (предѣльная скорость движенія товарныхъ поѣздовъ).

Для части магистрального участка Екатерининской дороги Синельниково—Чаплино коэффициент α определенъ слѣдующимъ образомъ:

Общая длина уч. Синельниково—Чаплино = 67,5 вер.

Длина рабочего профиля = 52 вер.

Виртуальная длина рабочего профиля = 120 вер.

Виртуальный коэффициентъ

$$\frac{120}{52} = 2,300$$

Виртуальный коэффициентъ подъема въ 0,004 = 2,3017. Слѣдовательно, эквивалентный подъемъ рабочего участка можетъ быть принятъ — 0,004.

Отношеніе рабочего профиля къ общему протяженію участка

$$\frac{l}{l_0} = \frac{52}{67,5} = 0,77.$$

$$\alpha = \frac{\frac{l}{l_0} \frac{v_{max}}{v} + \delta \left(1 - \frac{l}{l_0}\right)}{\frac{l}{l_0} \frac{v_{max}}{v} + \left(1 - \frac{l}{l_0}\right)} = \frac{0,77 \times 2 + 0,15 (1 - 0,77)}{0,77 \times 2 (1 - 0,77)}$$

$$\alpha = \frac{1,54 + 0,035}{1,54 + 0,23} = \frac{1,581}{1,77} = 0,893 \text{ или}$$

$$\infty 0,900.$$

Предполагая, что и для всей Екатерининской дороги коэффициентъ α имѣетъ то же значеніе, можемъ опредѣлить средней максимальной расходъ пара паровозами къ часъ за 1901 годъ (Hk).

$$0,9 \times 0,07 \times Hk = 226,03,$$

$$Hk = \frac{226,03}{0,063} = 3620 \text{ килограммовъ.}$$

При среднемъ составѣ въ 32 вагоно-единицы и при скорости 18 верстъ въ часъ для 0,004 подъема потребная сила тяги паровоза опредѣляется около 5000 килограммовъ. На томъ же подъемѣ при скорости въ 36 верстъ для одиночно слѣдующаго паровоза сила тяги опредѣляется около 1350 килограммовъ.

Отношеніе часовыхъ расходовъ пара при одиночномъ пробѣгѣ и работѣ въ поѣздахъ средняго состава составитъ:

$$\frac{2 \times 1350}{5000} = 0,54.$$

Слѣдовательно, приближенно можно принять средній расходъ пара въ часъ при одиночномъ пробѣгѣ

$$3255 \times 0,54 = 1755 \text{ килограммовъ.}$$

Такимъ образомъ коэффициентъ η можно принять $= 0,54$ и $\varepsilon = \alpha\eta = 0,54 \times 0,9 = 0,486$.

Опредѣливъ численныя значенія всѣхъ коэффициентовъ въ выраженіи стоимости вагоно-единице-версты, можно найти численную стоимость таковой за 1901 эксплуатационный годъ на Екатерининской ж. д.

$\frac{1}{18 \times 32,12}$	$+$	$\frac{1}{32 \times 32,12}$	$+$	$\frac{0,10}{35 \times 32,12}$	$+$	$\frac{1}{32,12}$	$+$	$\frac{0,100}{X_1}$
226,03 112,36 31,28 37,97 16,00 <hr/> 423,64		39,00 19,50 31,28 37,97 16,00 3,90 1,95 3,13 3,80 1,60 <hr/> 158,13		122,06 60,67 31,28 37,97 16,00 <hr/> 267,98		5,420 0,050 0,542 <hr/> 6,012		0,070 0,264 X_1 X_n Y_1 W — Y_n W <hr/> 0,434+ $X_1 \dots X_n +$ $Y_1 \dots Y_n$ $W \dots W$

$$M_0 = \frac{123,64}{578,16} + \frac{158,13}{1027,84} + \frac{26,80}{1124,2} + \frac{6,012}{32,12} + 0,434 + \Sigma X + \Sigma \frac{Y}{W}$$

$$M_0 = 0,7330 + 0,1540 + 0,0238 + 0,1870 + 0,434 + \Sigma X + \Sigma \frac{Y}{W}$$

$$M_0 = 1,5318 + X_1 + X_2 + \dots + X_n + \frac{Y_1}{W} + \frac{Y_2}{W} + \dots + \frac{Y_n}{W} \text{ (въ копейкахъ).}$$

Подъ величинами $X_1, X_2 + \dots + X_n \frac{Y_1}{W} \dots \frac{Y_n}{W}$ разумѣются тѣ части стоимости вагоно-единице-версты, которыя зависятъ отъ общихъ расходовъ. Въ 1901 году на Екатерининской дорогѣ было исполнено товарными поѣздами 316,926,918 вагоно-единице-верстѣ. Часть эксплуатаціонной стоимости этого количества вагоно-верстѣ по выведенной нами формулѣ составитъ около 4,800,000 рублей, что составляетъ около 30% общихъ эксплуатаціонныхъ расходовъ (14964160).

На Екатерининской дорогѣ, начиная съ 1899 года, благодаря введенію принципа движенія товарныхъ поѣздовъ безъ росписанія и отчасти устройству блокировки на уч. Любомировка—Криничная, коммерческая скорость движенія товарныхъ поѣздовъ постепенно увеличивалась: въ 1899 году коммерческая скорость составляла 10,00 вер., въ 1900—10,5, въ 1901 году 11,3 вер. Такое увеличеніе коммерческой скорости являлось слѣдствіемъ уменьшенія простоевъ товарныхъ поѣздовъ по остановочнымъ пунктамъ, такъ какъ средняя скорость поѣздовъ на перегонахъ оставалась одна и та же, т. е. 18 вер., какъ мы опредѣлили выше.

Такимъ образомъ имѣемъ:

$$\text{для 1899 г. } \frac{v_0}{v} = \frac{10}{18} = 0,555 = 0,55,$$

$$a = \frac{18,00}{1,818-1} = \frac{18,00}{0,818} = 22 \text{ версты,}$$

$$\frac{1}{an} = \frac{1}{22 \times 31,76} = \frac{1}{698,72}$$

$$\frac{158,13}{698,72} = 0,2263.$$

Разница въ пользу 1901 г. на 1 вагоно-единице-версту -- 0,0723 коп.

А на 316,926,918 в. в. — 229138 руб.

Слѣдовательно, мы вправѣ съ большей точностью сказать, что благодаря уменьшенію простоевъ по станціямъ вслѣдствіе примѣненія принципа движенія поѣздовъ безъ рописанія и отчасти введенію блокировки въ 1901 году получилось сокращеніе расходовъ не менѣе, чѣмъ на 212341 руб.

Если бы явился вопросъ, какимъ образомъ могло выразиться это сокращеніе расходовъ, то такимъ же методомъ можно точно подсчитать сокращеніе расходовъ по каждому очередному номеру, входящему въ составъ второй графы, т. е. по №№ 246, 247, №№ 251—298, №№ 234—248, № 200—209, № 264—275.

Слѣдовательно, при принятомъ измѣрителѣ на паровозо-версту и поѣздо-версту, дѣлимое, т. е. сумма расходовъ по каждому номеру, должно было уменьшиться въ соотвѣтствующей мѣрѣ, а дѣлитель — пробѣгъ — при этомъ остается тотъ же. Поэтому и каждая ставка по очер. №№ въ отчетѣ должна была уменьшиться на опредѣленную величину.

Общее выраженіе эксплуатаціонной стоимости пудов-вереты полезнаго груза.

Въ началѣ нашего изслѣдованія было указано значеніе средней вагонной нагрузки a и тары вагоновъ или вагоно-единиць b . При такихъ условіяхъ перевозка cadaго пуда полезнаго груза вызываетъ передвиженіе $\frac{a+b}{a}$ пудовъ брутто

вѣса поѣздовъ. Если обозначить черезъ q — вѣсъ вагоно-единицы, то на каждую вагоно-единицу придется $\frac{aq}{a+b}$ пудовъ полезнаго груза. Если отъ выраженія общей эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты перейти къ выраженію эксплуатаціонной стоимости пудо-версты полезнаго груза, то необходимо въ выведенномъ нами выраженіи переменную величину состава n замѣнить выраженіемъ:

$$nq\tau = \frac{nag}{a+b} = nq \frac{1}{1+\frac{a}{b}}.$$

Тогда мы получимъ выраженіе общей эксплуатаціонной стоимости пудо-версты полезнаго груза Π_0 въ видѣ:

$$\Pi_0 = F(i, \alpha, \tau, a, nq, v, v_{max}, \gamma, \nu, H, k, p).$$

Выраженіе $nq \frac{a}{a+b}$ можно представить въ видѣ

$$nq \frac{1}{1+\frac{a}{b}},$$

гдѣ входитъ отношеніе тары вагона къ средней нагрузкѣ.

Величину $\frac{1}{1+\frac{a}{b}}$ мы ранѣе назвали коэффициентомъ полезнаго дѣйствія вагонной тары. Чѣмъ болѣе значеніе этого коэффициента приближается къ единицѣ въ зависимости отъ уменьшенія отношенія $\frac{b}{a}$, тѣмъ стоимость пудо-версты полезнаго груза уменьшается при остальныхъ переменныхъ постоянныхъ.

Выраженіе стоимости пудо-версты полезнаго груза будетъ имѣть видъ:

$$\Pi_0 = \frac{1}{v n q \eta} \left(\begin{array}{c} \alpha \frac{T}{H \kappa_0} H \kappa \\ \alpha \frac{P}{H \kappa_0} H \kappa \\ \mathcal{H}_n \\ \mathcal{H}_k \\ \mathcal{H}_c \end{array} + \frac{1}{a n q \eta} \left(\begin{array}{c} \delta \frac{T}{H \kappa_0} H \kappa \\ \delta \frac{P}{H \kappa_0} H \kappa \\ \mathcal{H}_n \\ \mathcal{H}_k \\ \mathcal{H}_c \\ \gamma \delta \frac{T}{H \kappa_0} H \kappa \\ \gamma \delta \frac{P}{H \kappa_0} H \kappa \\ \gamma \mathcal{H}_n \\ \gamma \mathcal{H}_k \\ \gamma \mathcal{H}_c \end{array} + \frac{\gamma}{v_1 n q \eta} \left(\begin{array}{c} \varepsilon \frac{T}{H \kappa_0} H \kappa \\ \varepsilon \frac{P}{H \kappa_0} H \kappa \\ \mathcal{H}_n \\ \mathcal{H}_k \\ \mathcal{H}_c \end{array} + \frac{1}{n q \eta} \left(\begin{array}{c} C_{np} \\ \gamma D_p \\ \gamma C_{np} \end{array} + \frac{1}{q \eta} \left(\begin{array}{c} \Pi_n \\ \Pi_k \\ P_a \\ X_1 \\ X_2 \\ - \\ X_n \\ \frac{Y_1}{W} \\ - \\ - \\ \frac{Y_n}{W} \end{array} \right) \right) \right) \right)$$

Эксплуатационное значеніе коэффициента полезнаго дѣйствія вагонной тары.

Изъ приведеннаго выраженія видно, что коэффициентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары входитъ во все члены дѣлителемъ. Слѣдовательно, общая эксплуатационная стоимость пудо-версты полезнаго груза обратно пропорциональна коэффициенту полезнаго дѣйствія вагонной тары. Съ этой

точки зрѣнія, если имѣть въ виду, что въ вышеприведенное выраженіе входитъ не менѣе 50% всѣхъ эксплуатаціонныхъ расходовъ, то увеличеніе вдвое коэффиціента полезнаго дѣйствія вагонной тары сократитъ вдвое не менѣе половины эксплуатаціонныхъ расходовъ и не менѣе, чѣмъ на 25% общій итогъ эксплуатаціонныхъ расходовъ. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары выражается

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{b}{a}}$$

и зависитъ отъ соотношенія тары вагона къ средней нагрузкѣ вагона полезнымъ грузомъ. Изслѣдуемъ въ отдѣльности значеніе вѣса тары вагоновъ (мертвaго вѣса) и средней нагрузки.

Если предположить, что дорога исключительно перевозитъ навалочные грузы и повагонныя отправки, то средняя нагрузка вагоно-единицы равняется предѣльной нагрузкѣ для даннаго типа вагоновъ, и коэффиціентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары исключительно обусловливается отношеніемъ вѣса тары вагона къ его грузоподъемной силѣ. Если взять нормальный товарный вагонъ русскихъ желѣзныхъ дорогъ, то, полагая среднюю тару вагона въ 420 пудовъ, наибольшее значеніе коэффиціента полезнаго дѣйствія тары получимъ:

$$\frac{1}{1 + \frac{b}{a}} = \frac{1}{1 + \frac{420}{750}} = \frac{1}{1,56} = 0,641.$$

Если взять изъ числа спеціального подвижнаго состава катерининской дороги угольные полувагоны системы Годаллоу и Кушмана подъемной силы 1830 пудовъ съ средней

тарой въ 720 п., то коэффициентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары получимъ:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{720}{1830}} = \frac{1}{1,393} = 0,720.$$

Если предположить, что тѣ и другіе вагоны работаютъ, какъ груженые, въ оба направленія, то, очевидно, та часть стоимости пудо-версты, которая опредѣляется нашей формулой, при пользованіи полувагонами будетъ меньше, чѣмъ при пользованіи нормальными крытыми вагонами, въ

$$\frac{0,720}{0,641} = 1,123 \text{ раза.}$$

Но невыгода спеціального состава обусловливается тѣмъ обстоятельствомъ, что обратный, груженный пробѣгъ такого состава за недостаткомъ спеціальныхъ обратныхъ грузовъ не обезпеченъ. Если предположить обратный пробѣгъ взятыхъ для примѣра угольныхъ полувагоновъ порожнимъ, то коэффициентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары получаетъ уже иное значеніе, гораздо меньшее, чѣмъ въ первомъ случаѣ, а именно:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{720}{915}} = \frac{1}{1,786} = 0,56.$$

Въ такомъ случаѣ, преимущество спеціального подвижнаго состава сразу теряется въ сравненіи съ нормальными крытыми вагонами, и пользование спеціальнымъ подвижнымъ составомъ при такихъ условіяхъ становится прямо убыточнымъ. Отсюда вытекаетъ, какъ весьма важное правило, что пользование спеціальнымъ подвижнымъ составомъ, дающимъ высшій коэффициентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары, выгодно только въ тѣхъ предѣлахъ, въ какихъ обезпеченъ обратный пробѣгъ его груженымъ.

Само собой разумѣется, что при общемъ обратномъ теченіи порожнихъ, какъ нормальныхъ, такъ и специальныхъ вагоновъ, преимущество остается за специальнымъ подвижнымъ составомъ, какъ имѣющимъ и въ этомъ случаѣ высшій коэффициентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары. На Екатерининской дорогѣ специальный подвижной составъ примѣняется, главнымъ образомъ, въ послѣднемъ случаѣ, а именно: угольные полувагоны грузятся въ Донецкомъ бассейнѣ углемъ по назначенію въ Екатеринославскій районъ крупнаго потребленія, обратно полувагоны идутъ порожнякомъ. Такъ какъ въ направленіи съ запада на востокъ Екатерининская дор. въ среднемъ имѣетъ до 30% пробѣга порожнихъ, то, очевидно, пока этотъ неизбѣжный процентъ порожняго пробѣга (отъ 250 до 350 вагоновъ въ среднемъ) заполняется специальнымъ подвижнымъ составомъ—полувагонами, то пользованіе послѣдними представляетъ несомнѣнную выгоду, такъ какъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары полувагоновъ въ этомъ случаѣ равенъ 0,56, а для нормальныхъ вагоновъ $\frac{1}{2,12} = 0,47$.

Такимъ образомъ, является опредѣленная граница пользованія полувагонами въ этомъ случаѣ (до 100—140 полувагоновъ въ сутки), и дальнѣйшее суточное увеличеніе пользованія ими вызоветъ лишній порожній пробѣгъ, т. е. понизитъ среднюю нагрузку вагона, и будетъ уже невыгодно. Равнымъ образомъ, на Мариупольской линіи Екатерининской дороги, перевозящей, главнымъ образомъ, уголь изъ Донецкаго бассейна въ этотъ портъ, употребляются специальные вагоны углеспрокидыватели, имѣющіе наибольшій коэффициентъ

ентъ вагонной тары

$$\frac{1}{1 + \frac{260}{610}} = \frac{1}{1,426} = 0,70.$$

Такъ какъ обратное теченіе на этомъ участкѣ почти исключительно порожнее, то пользованіе углепрокидывателями, съ точки зрѣнія стоимости перевозки, весьма выгодно и весь уголь, идущій въ Мариуполь-портъ, выгодно грузить въ углепрокидыватели. *) (Мы не касаемся здѣсь вопроса о преимуществахъ этого рода вагоновъ въ смыслѣ болѣе легкой и дешевой разгрузки). Такимъ образомъ, для спеціального подвижного состава существуютъ опредѣленные и точныя границы выгодности пользованія ими.

Эта условность утилизаціи спеціального подвижного состава наряду съ нѣкоторыми другими невыгодными сторонами послѣдняго является главной причиной того, что дороги по неволѣ избѣгаютъ имъ пользоваться. Но условія перевозки цѣлаго ряда грузовъ требуютъ спеціального подвижного состава, неизбѣжнаго для каждой дороги. Такой спеціальный подвижной составъ представляютъ платформы.

Для длинныхъ 30-ти футовыхъ платформъ съ желѣзными швеллерами и откидными бортами наибольшей коэффициентъ полезнаго дѣйствія тары платформъ можетъ быть принятъ въ среднемъ

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{420}{750}} = 0,641,$$

т. е. такимъ же, какъ для нормальнаго крытаго вагона.

*) На Екатерининской дорогѣ сверхъ этого имѣются, какъ спеціальный подвижной составъ, допускаемый въ прямомъ сообщеніи, обыкновенные двухосные угольные полувагоны подъемной силы 610 и 750 пудовъ съ средней тарой для первыхъ 260 пуд. и для вторыхъ 340 пуд. Условія выгодности примѣненія этихъ полувагоновъ очевидно тѣ же самыя.

Но такъ какъ обратный пробѣгъ платформъ можетъ быть принятъ въ общемъ случаѣ порожнимъ, то коэффициентъ полезнаго дѣйствія тары платформъ можетъ быть принятъ:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{420}{375}} = 0,47.$$

Тамъ, гдѣ обратный пробѣгъ платформъ совпадаетъ съ общимъ неизбѣжнымъ теченіемъ порожнихъ, вынужденное пользованіе ими эквивалентно съ эксплуатационной точки зрѣнія пользованію нормальнымъ подвижнымъ составомъ. Въ обратномъ случаѣ, перевозка специальныхъ грузовъ (рельсы, желѣза, дѣса и вообще длинномѣрныхъ предметовъ и проч.) на платформахъ для дорогъ представляютъ большую невыгоду по сравненію съ перевозкой въ нормальномъ крытомъ подвижномъ составѣ. Часть стоимости пудо-версты въ этомъ случаѣ повышается противъ нормальнаго вагона въ

$$\frac{0,64}{0,47} = 1,36 \text{ разъ.}$$

Какъ естественное слѣдствіе такого рода условій, и тарифъ на грузы, перевозимые на открытомъ подвижномъ составѣ, долженъ быть соответственно выше тарифа для грузовъ, перевозимыхъ повагонно въ крытыхъ вагонахъ. *) Для дорогъ, перевозящихъ, главнымъ образомъ, навалоч-

*) Какъ пзвѣстно, въ настоящее время, вслѣдствіе постановленій послѣднихъ техническихъ комиссій, рѣшено усилить желѣзные швеллера платформъ шпренгелями для болѣе безопасной перевозки сосредоточенныхъ грузовъ. Усиленіе швеллеровъ шпренгелями повизитъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія тары платформъ съ 0,47 до

$$\frac{1}{1 + \frac{460}{375}} = \frac{1}{2,226} = 0,45.$$

Вмѣстѣ съ тѣмъ, впрелдъ до усиленія швеллеровъ для сосредоточенной нагрузки подъемная сила 30' платформъ ограничена въ 600 пуд., что даетъ коэффициентъ полезнаго дѣйствія тары

$$\frac{1}{1 + \frac{420}{300}} = \frac{1}{2,40} = 0,416.$$

ные и повагонные грузы, возможное пониженіе тары вагоновъ представляетъ единственный выходъ въ этомъ направленіи удешевленія перевозокъ повышеніемъ коэффициента полезнаго дѣйствія вагонной тары, такъ какъ средняя нагрузка вагоновъ для такихъ дорогъ опредѣляется и совпадаетъ съ предѣльной подъемной силой вагоновъ.

Эксплоатаціонное значеніе средней нагрузки вагоновъ.

Для перевозокъ, такъ называемыхъ, сборныхъ грузовъ, значеніе средней нагрузки вагоновъ обыкновенно гораздо ниже полной подъемной силы вагона. Въ этомъ случаѣ коэффициентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары понижается весьма ощутительно. Если, напримѣръ, принять среднюю нагрузку сборнаго вагона, полагая пробѣгъ въ обѣ стороны груженымъ, въ 250 пудовъ, какъ это обычно бываетъ, то коэффициентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары получаетъ значеніе:

$$\eta = \frac{1}{1 + \frac{420}{250}} = \frac{1}{2,68} = 0,37,$$

т. е. въ 1,75 раза менѣе максимальнаго коэффициента тары нормальнаго вагона. Поэтому организація перевозки сборныхъ грузовъ, особенно для дорогъ, гдѣ такія перевозки главенствуютъ, имѣетъ настолько важное эксплуатаціонное значеніе, что едва ли найдется другой столь важный вопросъ съ эксплуатаціонной точки зрѣнія. Главной задачей подобной организаціи должно являться повышеніе средней нагрузки вагоновъ, или другими словами фформированіе исключительно полногрузныхъ вагоновъ *) дальняго слѣдованія. При чемъ для дорогъ съ одностороннимъ движеніемъ грузовъ фформированіе полногрузныхъ сборныхъ вагоновъ имѣетъ значеніе лишь въ сторону

*) Какъ примѣръ подобной организаціи можно указать положеніе о перевозкѣ сборныхъ грузовъ на Екатеринбургской дорогѣ.

груженого течения. Предлагаемый нами методъ можетъ быть положенъ въ основу учета по перевозкамъ сборныхъ грузовъ и выработкѣ премій соответствующимъ агентамъ за повышеніе средней нагрузки вагоновъ или вообще увеличеніе коэффициента полезнаго дѣйствія вагонной тары.

Изслѣдованіе выраженія общей эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты:

$$M_0 = \frac{1}{vn} \left[\begin{array}{c} \alpha \frac{T}{Hk_0} Hk \\ \alpha \frac{P}{Hk_0} Hk \\ Hk_n \\ Hk_k \\ Hk_c \end{array} + \frac{1}{an} \left[\begin{array}{c} \delta \frac{T}{Hk_0} Hk \\ \delta \frac{P}{Hk_0} Hk \\ Hk_n \\ Hk_k \\ Hk_c \\ \gamma \delta \frac{T}{Hk_0} Hk \\ \gamma \delta \frac{P}{Hk_0} Hk \\ \gamma Hk_n \\ \gamma Hk_k \\ \gamma Hk_c \end{array} + \frac{\gamma}{v_1 n} \left[\begin{array}{c} \frac{THk}{Hk_0} \\ \frac{PHk}{Hk_0} \\ Hk_n \\ Hk_k \\ Hk_c \end{array} + \frac{1}{n} \left[\begin{array}{c} C_{np} \\ \gamma P_p \\ \gamma C_{np} \end{array} + \begin{array}{c} P_n \\ Hk \\ P_p \\ X_1 \\ X_2 \\ X_3 \\ \dots \\ X_n \end{array} + \begin{array}{c} \frac{Y_1}{W} \\ \frac{Y_2}{W} \\ \dots \\ \frac{Y_n}{W} \end{array} \right. \right. \right. \end{array} \right]$$

сдѣлаемъ въ такомъ порядкѣ: считая переменнѣйшей только одну изъ основныхъ, входящихъ въ общее выраженіе, а остальные постоянными, будемъ изучать законъ измѣненія стоимости вагоно-единице-версты въ зависимости отъ измѣненія этой величины. Этимъ способомъ, мы вы-

яснимъ эксплуатаціонное значеніе каждаго въ отдѣльности фактора, входящаго, какъ независимая переменная въ общее выраженіе

$$M_0 = F^p (v_n, v_{max}, \alpha, \gamma, v_1, i, a, H, k, p).$$

Эксплуатаціонное значеніе скорости и составовъ товарныхъ поѣздовъ.

Для одного и того же участка желѣзныхъ дорогъ, для одного и того же типа паровозовъ и одного и того же отношенія пробѣга одиночныхъ паровозовъ къ пробѣгу въ поѣздахъ, въ общемъ выраженіи эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты всѣ члены, заключающіеся въ пяти скобкахъ этого выраженія, получаютъ постоянное значеніе, и въ этомъ случаѣ измѣненіе стоимости вагоно-единице версты зависитъ отъ множителей передъ скобками:

$$1) \frac{1}{vn} \quad 2) \frac{1}{an} \quad 3) \frac{\gamma}{v_1 n} \quad 4) \frac{1}{n}.$$

Ранѣе нами было показано, что для каждаго участка дороги и даннаго типа паровозовъ существуютъ опредѣленные значенія средней скорости на рабочей части перегона v , обращающія произведенія состава n на скорость v въ максимумъ. вмѣстѣ съ тѣмъ была показана зависимость между средней скоростью на всемъ перегонѣ, скоростью на рабочей части перегона и предѣльной скоростью на нерабочемъ участкѣ (на скатахъ) въ видѣ:

$$v_0 = \frac{\frac{v_{max}}{v}}{1 + \frac{l}{l_0} \left(\frac{v_{max}}{v} - 1 \right)} v.$$

Ради простоты соображеній предположимъ, что выбранный нами участокъ представляетъ на всемъ протяженіи рабочей профиль,

$$и \quad v_0 = v = v_{max}.$$

Имѣя ранѣ найденныя кривыя зависимости измѣрителя работы паровоза— vn —отъ скорости (чер. 4) и пользуясь выведеннымъ нами выраженіемъ эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты, легко вычертить кривую измѣненія стоимости вагоно-единице-версты для данного участка дороги въ зависимости отъ средней скорости v , предполагая величину a , характеризующую простой товарныхъ поѣздовъ по станціямъ, извѣстной, равно какъ и скорость одиночнаго пробѣга v_1 и отношеніе такового къ пробѣгу въ поѣздахъ γ .

Для нормальнаго товарнаго паровоза при средней паропроизводительности котла въ 30 килогр., выраженіе эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты приметъ видъ (кругло):

$$M_0 = \frac{1}{vn} + \frac{1}{an} + \frac{\gamma}{v_1 n} + \frac{1}{n} + \frac{Y_1}{W} + \frac{Y_n}{W}$$

300	46	216	5,420	X_1
150	23	108	0,050	X_2
31	31	31	0,542	—
38	38	38		—
16	16	16		X_n
	3			$\frac{Y_1}{W}$
	2			—
	3			—
	4			—
	2			$\frac{Y_n}{W}$
535	168	409	6,012	

Кривая изменения стоимости вагоно-единице-версты для 0,004 подъема и для нормального товарного паровоза, в такомъ случаѣ, приметъ видъ, показанный на *чер. 5*.

Сопоставляя кривыя значенія *nv* (*чер. А*) съ кривыми стоимости вагоно-единице версты, мы видимъ, что наивыгоднѣйшее эксплуатационное значеніе скорости *v* (соответственно и состава) передвинулось для кривой стоимости въ сторону низшихъ значеній скорости, а именно: максимумъ произведенія скорости на составъ *nv* получился при скорости $v = 19,4$ кил. = 18,2 вер. и составѣ 48,7 вагоно-единиць, а наименьшая стоимость вагоно-единице-версты при скорости 15,5 вер. и составѣ 56 вагоно-единиць. Необходимо помнить, что такія значенія для скорости и состава мы получили въ томъ предположеніи, что нормальный товарный паровозъ работаетъ все время съ средней напряженностью поверхности нагрѣва, равной 30 килограммамъ съ квадратнаго метра, и мы ранѣе нашли примѣрную среднюю величину расхода пара паровозами на Екатерининской дорогѣ въ 1901 году въ 3600 килограммъ въ часъ, что даетъ на кв. метръ поверхности нагрѣва нормального паровоза 25,35 килограммовъ. Въ виду того, что средняя величина часового расхода пара выведена для всѣхъ паровозовъ работающихъ на Екатерининской дорогѣ, среди которыхъ нормальный паровозъ является наиболѣе сильнымъ, для послѣдняго средній часовой расходъ пара можно принять въ 30 килограм. съ кв. метра. Для наибольшей напряженности поверхности нагрѣва $k = 40$ кил. кривая стоимости вагоно-единице версты получитъ видъ, показанный на *чер. 6*. Изъ сопоставленія полученныхъ кривыхъ видно, что съ возрастаніемъ напряженности поверхности нагрѣва соответственно уменьшается и стоимость вагоно-единице-версты, такъ какъ въ этомъ случаѣ въ общемъ выражающей эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты изъ

всѣхъ величинъ, заключенныхъ въ скобкахъ, возрастуть только два члена: $\frac{T}{Hk_0} Hk$ и $\frac{P}{Hk_0} Hk$, остальные же величины въ скобкахъ останутся безъ измѣненія, въ то же время всѣ множители передъ скобками соотвѣтственно уменьшатся вслѣдствіе возрастанія величинъ v и n .

Такимъ образомъ, въ каждомъ частномъ случаѣ, для даннаго участка дороги и даннаго типа паровозовъ, вопросъ о наивыгоднѣйшей эксплуатаціонной скорости и составъ рѣшается точнымъ образомъ.

Значеніе наивыгоднѣйшей эксплуатаціонной скорости будетъ тѣмъ болѣе, чѣмъ болѣе эквивалентный подъемъ участка, т. е. чѣмъ больше виртуальный коэффициентъ рабочей части участка, такъ какъ изъ сказаннаго видно, что значеніе наивыгоднѣйшей эксплуатаціонной скорости зависитъ отъ значенія скорости, обрашающей произведеніе состава на скорость nv (или Qv) въ максимумъ. вмѣстѣ съ тѣмъ, оба эти значенія скоростей тѣмъ ближе другъ къ другу, чѣмъ меньше численныя значенія слѣдующихъ трехъ членовъ въ сравненіи съ первымъ.

Численное значеніе второго члена тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе простой поѣздовъ на остановочныхъ пунктахъ. Численное значеніе третьяго члена тѣмъ менѣе, чѣмъ менѣе отношеніе одиночнаго пробѣга къ пробѣгу въ поѣздахъ. Численное значеніе четвертаго члена обусловливается исключительно стоимостью версты пробѣга паровозовъ и измѣняется весьма незначительно. При отсутствіи простоевъ поѣздовъ по станціямъ и одиночнаго пробѣга, значеніе наивыгоднѣйшей эксплуатаціонной скорости ближе всего къ значенію скорости, обрашающей измѣритель работы паровоза въ максимумъ.

На участкахъ, имѣющихъ сравнительно небольшіе виртуальные коэффициенты и небольшіе эквивалентные подъемы (не болѣе 0,004), наивыгоднѣйшія эксплуатаціонныя скорости и составъ будутъ совпадать болѣе или менѣе съ тѣми значеніями этихъ величинъ, которыя встрѣчаются на практикѣ.

Какъ извѣстно, на всѣхъ дорогахъ принято назначать для паровозовъ тѣ составы, которые являются предѣльными на наибольшихъ подъемахъ, при чемъ самый расчетъ ведется въ томъ предположеніи, что поѣздъ въ предѣльномъ составѣ и на предѣльномъ подъемѣ долженъ двигаться со скоростью не меньшей 10—12 верстъ. Изъ сказаннаго ясно, что найденныя такимъ образомъ значенія скорости и состава могутъ быть далеко не наивыгоднѣйшими, и эта разница будетъ тѣмъ ощутительнѣе, чѣмъ больше эквивалентные подъемы участковъ или ихъ виртуальные коэффициенты.

На горныхъ участкахъ дорогъ, имѣющихъ эквивалентные подъемы болѣе 0,008 подъема, практическія величины составовъ и скоростей при этихъ условіяхъ настолько могутъ различиться отъ наивыгоднѣйшихъ скоростей и составовъ, что вызываемые этимъ обстоятельствомъ эксплуатаціонные перерасходы могутъ быть ощутительны. Такъ, на примѣръ, наивыгоднѣйшій составъ для участка съ эквивалентнымъ 0,008 подъемомъ для нормальнаго товарнаго паровоза при средней напряженности нагрѣва въ 30 $\frac{\text{килогр.}}{\text{кв. метр.}}$ будетъ составлять около 27 вагоно-единицъ, при средней скорости около 20 верстъ въ часъ, тогда какъ составъ опредѣленный общепринятымъ способомъ равняется 38—40 вагоно-единицамъ при средней скорости 10—12 верстъ. Въ данномъ случаѣ, сама жизнь избавляетъ отъ столь крупныхъ ошибокъ, такъ какъ предѣльные подъемы, для которыхъ принято разсчитывать составъ, обычно гораздо больше эквивалентныхъ подъемовъ

для всего участка. Изъ приведеннаго, частнаго примѣра и изъ разсмотрѣнія кривыхъ стоимости вагоно-единице-версты видно, что отступленія отъ наивыгоднѣйшаго значенія скорости на двѣ, три версты въ обѣ стороны не имѣеть существеннаго значенія, но само собой является вопросъ, въ какую же сторону отступленіе отъ наивыгоднѣйшей скорости менѣе убыточно, въ сторону ли низшихъ ея значеній или высшихъ. Если принять въ расчетъ также всѣ расходы, пропорціональные количеству движенія, и такъ называемые общіе расходы, не зависящіе отъ работы дороги (соотвѣтственно членамъ $X...X_n$ и $\frac{Y_1}{W^1}... \frac{Y_n}{W}$) и отнести таковыя на каждый часъ работы поѣздовъ и паровозовъ, то можно сказать, что при уменьшеніи или увеличеніи скорости въ обѣ стороны отъ наивыгоднѣйшей эксплуатаціонной, общая стоимость поѣздо-часа измѣнялась бы относительно настолько незначительно, что могла бы быть принята постоянной. Другими словами, общая напряженность эксплуатаціонныхъ расходовъ, понимая подъ этимъ словомъ расходъ въ единицу времени, могла бы быть принята въ этихъ предѣлахъ величиной неизмѣняемой.

Между тѣмъ, напряженность эксплуатаціонной работы, понимая подъ этимъ словомъ количество пудо-верствъ или вагоно-единице-верствъ, перерабатываемыхъ въ часъ поѣздомъ, увеличивается съ возрастаніемъ скорости до тѣхъ поръ, пока не совпадетъ съ вполне опредѣленнымъ значеніемъ скорости, обращающимъ напряженность работы въ максимумъ, т. е. дающимъ наибольшій измѣритель работы поѣзда. Отсюда ясно, что для практическаго значенія наивыгоднѣйшей скорости существуютъ два предѣла: низшій, опредѣленный нами, какъ наивыгоднѣйшій въ общемъ эксплуатаціонномъ смыслѣ, высшій, опредѣленный нами, какъ дающій наибольшее количество единицъ работы поѣздовъ въ единицу времени. Такимъ

образомъ, если считать напряженность расходовъ величиной постоянной, то необходимо стремиться къ наибольшей напряженности работы поѣздовъ, такъ какъ эксплуатаціонная стоимость единицы работы, вообще говоря, опредѣляется отношеніемъ напряженности расхода къ напряженности эксплуатаціонной работы. Это обстоятельство приобретаетъ особенно важное значеніе въ тѣхъ случаяхъ, когда интенсивность работы на дорогѣ сильно повышается, что обычно бываетъ на русскихъ дорогахъ осенью и зимой въ періодъ хлѣбныхъ компаній. Въ такихъ случаяхъ, когда дорога обезпечена предложеніемъ перевозокъ, наивыгоднѣйшими эксплуатаціонными скоростями и составами поѣздовъ по участкамъ будутъ тѣ, которые дадутъ наибольшую напряженность, или наибольший измѣритель работы поѣздовъ. Обратное, въ періоды пониженія предьявляемыхъ перевозокъ, наибольшее значеніе напряженности работы поѣздовъ теряетъ свое первенствующее значеніе, и главное значеніе приобретаетъ наименьшая напряженность эксплуатаціонныхъ расходовъ. Въ первомъ случаѣ, въ общемъ выраженіи эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты постоянные члены $\frac{Y_1}{W} \dots \frac{Y_n}{W}$ получаютъ выраженіе $\frac{Y_1}{T_{vn}} \dots \frac{Y_n}{T_{vn}}$, такъ какъ общее количество перерабатываемыхъ дорогой вагоно-единице-верствъ (валовая работа дороги) будетъ зависѣть отъ величины измѣрителя работы паровозовъ при одномъ и томъ же общемъ числѣ часовъ работы паровозовъ на дорогѣ. Прибавленіе членовъ, зависящихъ непосредственно отъ величины измѣрителя работы паровоза, въ результатѣ приблизитъ значенія наивыгоднѣйшихъ эксплуатаціонныхъ скоростей къ тѣмъ, кои обращаютъ произведеніе состава на скорость въ максимумъ.

Эксплуатационное значение величины простоевъ поѣздовъ на промежуточныхъ станціяхъ.

Вліяніе простоевъ поѣздовъ на промежуточныхъ остановочныхъ пунктахъ на эксплуатационную стоимость вагоно-единице-версты выражается вторымъ членомъ общаго выраженія:

$$\frac{1}{an} \left(\delta \frac{T}{Hk_0} Hk + \delta \frac{P}{Hk_0} Hk + \mathcal{K}_a + \mathcal{K}_k + \mathcal{K}_c \right) (1 + \gamma).$$

Значеніе этого члена, представляющаго добавочный расходъ на вагоно-единице-версту влѣдствіе простоевъ поѣздовъ, зависитъ отъ четырехъ величинъ: величины простоя поѣздовъ $\left(\frac{1}{an} \right)$, состава поѣздовъ (n), стоимости часа простоя поѣздовъ $\left(\delta \frac{T}{Hk_0} Hk + \delta \frac{P}{Hk_0} Hk + \mathcal{K}_a + \mathcal{K}_k + \mathcal{K}_c \right)$ и относительной величины одиночнаго пробѣга (γ). Величина простоевъ транзитныхъ поѣздовъ на остановочныхъ пунктахъ зависитъ отъ совокупности эксплуатационныхъ условій участка дороги: количества остановокъ, потребныхъ для техническихъ нуждъ поѣзда, заполненности графика въ зависимости отъ густоты движенія, развитія промежуточныхъ станцій для осуществленія разнообразныхъ комбинацій скрещенія, пропуска и обгона поѣздовъ, способовъ и организаціи движенія поѣздовъ между станціями. Изъ разсмотрѣнія общаго выраженія эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты видно, что при увеличеніи простоевъ поѣздовъ, вызывающемъ уменьшеніе пробѣга поѣздовъ a , соответствующаго часу простоевъ, наивыгоднѣйшіе составы получаютъ большіе, а наивыгоднѣйшія скорости меньшія, что становится яснымъ само по себѣ, какъ объ этомъ было сказано выше. Равнымъ образомъ, въ этомъ случаѣ постепенно теряютъ свое значеніе высшія степени напряженности поверхности нагрѣва, такъ какъ при большихъ

простояхъ приобретаетъ значеніе возможно меньшая трата топлива на стоянкахъ, зависящая отъ общей напряженности работы паровоза. Послѣ коэффициента полезнаго дѣйствія вагонной тары, уменьшеніе простоевъ поѣздовъ на остановкахъ имѣетъ наиболѣе важное эксплуатационное значеніе, такъ какъ при большихъ простояхъ невозможно общее улучшеніе работы поѣздовъ, и все, что сберегается интенсивной работой паровоза на перегонѣ, теряется, вслѣдствіе потери времени на остановкахъ. Этотъ выводъ непосредственно можетъ вытекать изъ разсмотрѣнія общаго выраженія стоимости вагоно-единице-версты, такъ какъ значеніе перваго члена, зависящаго отъ измѣрителя работы паровоза на перегонѣ (vn), тѣмъ менѣе, чѣмъ больше относительно остальные члены, въ томъ числѣ и второй, выражающей вліяніе простоевъ поѣздовъ на стоимость вагоно-единице-версты.

Если предположить, что, съ одной стороны, стоимость работы поѣздовъ зависитъ только отъ продолжительности работы паровоза и ея напряженности, а съ другой, что напряженность работы одинакова какъ на перегонѣ, такъ и на стоянкахъ, то, пренебрегая вліяніемъ одиночнаго пробѣга, стоимость вагоно-единице-версты можно выразить въ слѣдующемъ видѣ:

$$M_0 = \frac{S}{v_0 n} + \Sigma X + \Sigma \frac{Y}{W},$$

гдѣ S стоимость часа работы поѣзда или паровоза, v_0 — средняя коммерческая скорость движенія поѣзда. Въ такомъ случаѣ, вліяніе простоевъ поѣздовъ на стоимость вагоно-единице-версты было бы эквивалентно вліянію профиля участка дороги. Такъ, напримѣръ, если взять участокъ дороги съ сплошнымъ подъемомъ въ 0,004, то для нормальнаго товарнаго паровоза, при напряженности поверхности нагрѣва $k=30$ килогр., наибольшій измѣритель работы на перегонѣ равенъ

945 вагоно-единице-килом. (см. стр. 76), при составѣ 48,7 ваг.-един. и скорости на перегонѣ 19,4 килом. Если предположить, что коммерческая скорость движенія поѣзда на этомъ участкѣ равнялась бы половинѣ перегонной скорости, т. е. 9,7 килом., то коммерческій измѣритель работы поѣзда (v_{0H}) составилъ бы 472 вагоно-единице-килом. и былъ бы ниже измѣрителя работы поѣзда на участкѣ съ сплошнымъ подъемомъ въ 0,008, если бы на послѣднемъ поѣзда слѣдовали безъ остановокъ. Въ такомъ случаѣ, стоимость вагоно-единице-версты выражалась бы соотвѣтственно для того и другого участка:

$$M_4 = \frac{S}{472} + \Sigma X + \Sigma \frac{Y}{W},$$

$$M_8 = \frac{S}{522} + \Sigma X + \Sigma \frac{Y}{W},$$

и перевозка по болѣе тяжелому профилю (0,008) обходилась бы дешевле, чѣмъ по болѣе легкому (0,004). Хотя обыкновенно стоимость часа работы поѣзда на стоянкахъ ниже стоимости часа работы поѣзда на перегонахъ, но приведенный примѣръ достаточно ясно показываетъ вредное вліяніе простоевъ поѣздовъ на промежуточныхъ пунктахъ, благодаря которому эксплуатація участковъ съ легкимъ профилемъ, съ плохой организаціей движенія поѣздовъ, можетъ обходиться дороже эксплуатаціи дорогъ съ тяжелымъ профилемъ, но съ болѣе совершенной организаціей, обеспечивающей минимальные простои поѣздовъ на промежуточныхъ станціяхъ. Поэтому, всѣ тѣ желѣзнодорожныя устройства, которыя обеспечиваютъ минимальные простои поѣздовъ, имѣютъ такое же значеніе, какъ и легкій профиль дорогъ.

Эксплоатационное значеніе величины поверхности нагрѣва и ея напряженности.

Зависимость измѣрителя работы поѣздовъ отъ величины поверхности нагрѣва (H) и ея напряженности (k) была нами разсмотрѣна ранѣе, при чемъ было показано, что при увеличеніи поверхности нагрѣва и ея напряженности, каждой порознь или обѣихъ вмѣстѣ, составъ поѣзда увеличивается прямо пропорціонально, если скорость остается постоянной, если же составъ остается постояннымъ, то скорость возрастаетъ нѣсколько медленнѣе. Поэтому, въ общемъ случаѣ, при увеличеніи измѣрителя работы паровоза за счетъ состава и скорости, необходимо принимать, что величина его возрастаетъ вообще медленнѣе величинъ H и k .

Изъ разсмотрѣнія общаго выраженія эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты легко видѣть, что, если увеличеніе поверхности нагрѣва или ея напряженности вызываетъ увеличеніе только составовъ поѣздовъ (n), то стоимость вагоно-единице-версты понижается, такъ какъ составъ n входитъ дѣлителемъ во всѣ четыре измѣняющихся члена, дѣлимое же возрастаетъ гораздо медленнѣе, чѣмъ дѣлитель n . При возрастаніи одновременно и скорости и состава, стоимость вагоно-единице-версты также уменьшается, но медленнѣе, чѣмъ въ первомъ случаѣ, какъ это было показано ранѣе (см. чер. 5 и 6). Увеличеніе поверхности нагрѣва, ея напряженности и предѣльнаго давленія пара въ котлѣ, или вообще увеличеніе мощности паровозовъ, въ дѣлѣ желѣзнодорожной эксплуатаціи, является однимъ изъ наиболѣе радикальныхъ средствъ къ уменьшенію издержекъ производства, а также и увеличенію провозной способности дорогъ при одномъ и томъ же путеvomъ устройствѣ. Практическимъ предѣломъ увеличенія мощности паровозовъ обыкновенно является ограниченная длина станціонныхъ путей, сопротивленіе сѣпныхъ

приборовъ вагоновъ, опредѣляющее для данной дороги предѣльный составъ товарныхъ поѣздовъ, и степень солидности верхняго строенія эксплуатируемыхъ дорогъ, ограничивающая нагрузку осей паровоза. Тѣмъ не менѣе, техника американскихъ желѣзныхъ дорогъ въ этомъ направленіи настолько ушла впередъ, что уже въ настоящее время эксплуатируетъ паровозы громадной мощности, превосходящей въ три—четыре раза таковую европейскихъ товарныхъ паровозовъ. Въ нижеслѣдующей сравнительной таблицѣ даются главные размѣры европейскихъ и американскихъ паровозовъ послѣднихъ типовъ, характеризующіе сравнительную мощность тѣхъ и другихъ.

Желѣзныя дороги	Заводы	Машина	Типъ паровоза	Полный вѣсъ	Полезный вѣсъ	Диаметръ ведущихъ колёсъ	Площадь колоснико- вой рублечки	Поверхность нагрузки	Рабочее давленіе въ котлѣ
Русскія дор. . Московско-Каз.	Русскіе Зав. Брянскій	Compound Compound	Норм. $\frac{4}{4}$ Mallet-Rim- rott $2 \times \frac{3}{8}$	51,5	51,5	1,200	1,85	152	11,5
Владикавказск. Кавк.-Восточн.	Брянскій	Compound	Cons. $\frac{4}{5}$	74,0	61,4	1,300	2,80	206	14,0
Прусскія казен- ныя дороги	Заводы въ Штетинѣ	Compound	Норм. $\frac{4}{4}$	52,2	52,2	1,250	2,25	155	12,00
Австрійскія *) казен. дор. .	Wiener- Neustadt	Compound	Cons. $\frac{4}{5}$	68,5	57,0	1,300	3,37	227	13,00
Компанія *) французскихъ железныхъ ж.д.	Société Alsacienne	Compound	— $\frac{4}{5}$	71,6	64,6	1,400	2,81	256	15,00
S-Pacific . . .	Schenectady	Compound	Consolid $\frac{4}{5}$	87,54	78,5	1,448	3,28	281	15,47
Norfolk-Western	Baldwin	Обыкновен.	Consolid $\frac{4}{5}$	76,2	68,0	1,422	4,39	230	14,1
Atchison . . .	Rhode Island	Compound tandem	Consolid $\frac{4}{5}$	91,2	79,8	1,448	4,64	275	14,76
Pennsylvania . .	Baldwin	Обыкновен.	Consolid $\frac{4}{5}$	87,7	78,5	1,422	4,56	264	14,41
Baltimore . . .	Schenectady	Обыкновен.	Consolid $\frac{4}{5}$	84,4	73,5	1,448	4,67	323,0	13,36
Atchison . . .	Baldwin	Compound Vauclain	Micado $\frac{4}{8}$	117,9	90,7	1,448	5,43	498,5	15,82
Atchison . . .	Schenect. Baldwin	Compound tandem	Decapod $\frac{5}{6}$	121,4	107,8	1,448	5,43	501	15,82
P. B. et L. E.	Pittsburg	Обыкновен.	Consolid $\frac{4}{5}$	113,53	102,15	1,372	3,42	353,5	15,37
Lehigh Valley . .	Baldwin	Compound Vauclain	Consolid $\frac{4}{5}$	102,10	91,73	1,397	5,36	381,2	14,06
Atchison . . .	Baldwin	Compound Vauclain	Consolid $\frac{4}{5}$	97,34	86,82	1,448	—	396,3	14,76

*) Указанные типы эксплуатируются для тяги пассажирскихъ поѣздовъ на тяжелыхъ участкахъ дорогъ.

Эксплуатационное значение профиля.

Зависимость измѣрителя работы паровоза m отъ свойствъ профиля была рассмотрѣна ранѣе. Для практическихъ соображеній достаточно точно предполагать, что величина измѣрителя обратно пропорціональна общему постоянному сопротивленію поѣзда движенію на данномъ участкѣ дороги. Въ такомъ случаѣ, приближенное выраженіе стоимости вагоно-единице-версты приметъ видъ:

$$M_0 = \frac{S}{vn} + \Sigma X + \Sigma \frac{Y}{W} = \frac{S}{C} + \Sigma X + \Sigma \frac{Y}{\alpha + i},$$

гдѣ C —коэффициентъ пропорціональности измѣрителя общему сопротивленію. Такимъ образомъ измѣняющаяся часть стоимости вагоно-единице-версты можетъ быть принята приближенно прямо пропорціональной общему сопротивленію движенію поѣзда. Для даннаго типа паровоза, при данныхъ условіяхъ движенія, какъ было указано, наивыгоднѣйшее значеніе составовъ и скорости вполне опредѣленно на каждомъ участкѣ дороги, и придерживаться на практикѣ подобныхъ составовъ и скорости тѣмъ легче, чѣмъ ближе предѣльные подъемы къ общему эквивалентному подъему участка. Въ тѣхъ же случаяхъ, когда это условіе не соблюдено, наибольшіе составы, возможные на данномъ участкѣ при одиночной тягѣ, могутъ быть значительно ниже наивыгоднѣйшихъ, и вызываемые этимъ обстоятельствомъ эксплуатационные перерасходы могутъ быть весьма значительны. Въ подобныхъ случаяхъ обыкновенно прибѣгаютъ къ подталкиванію поѣздовъ на тяжелыхъ частяхъ профиля, чтобы сохранить на остальной части участка наибольшіе составы, близкіе къ наивыгоднѣйшимъ. Въ каждомъ частномъ случаѣ подталкиваніе является выгоднымъ по стольку и до тѣхъ поръ, пока общій измѣритель работы паровозовъ возрастаетъ, предѣлы же выгоды примѣненія подталкиванія

легко опредѣляются подсчетомъ при помощи изложенныхъ методовъ.

Равнымъ образомъ, при проектированіи профиля вновь сооружаемыхъ дорогъ необходимо стремиться къ тому, чтобы предѣльные подъемы возможно ближе подходили къ общему эквивалентному подъему дороги. Въ тѣхъ же случаяхъ, когда это требованіе трудно выполнимо, необходимо выдѣлять и группировать тяжелыя части профиля, дабы имѣть возможность примѣнять здѣсь подталкиваніе, а на остальныхъ частяхъ профиля пользоваться наивыгоднѣйшими составами. Характеръ выдѣляемыхъ участковъ для подталкиванія долженъ быть таковъ, чтобы подталкивающіе паровозы утилизировались полностью, и оборотъ ихъ былъ возможно выгоднѣе *).

Эксплоатаціонное значеніе одиночнаго пробѣга паровозовъ.

Величина третьяго члена въ общемъ выраженіи эксплуатационной стоимости вагоно-единице-версты прямо пропорциональна количеству одиночнаго пробѣга, характеризуемому отношеніемъ къ пробѣгу паровозовъ въ поѣздахъ. Подобно вліянію простоевъ поѣздовъ на промежуточныхъ пунктахъ, одиночный пробѣгъ увеличиваетъ въ общемъ выраженіи эксплуатационной стоимости вагоно-единице версты значеніе членовъ, зависящихъ отъ величины составовъ поѣздовъ, поэтому чѣмъ больше одиночный пробѣгъ, тѣмъ большее значеніе приобретаетъ увеличеніе составовъ поѣздовъ, и тѣмъ выше значенія наивыгоднѣйшихъ составовъ, а значенія наивыгоднѣйшихъ скоростей тѣмъ менѣе. Величина одиночнаго пробѣга зависитъ отъ соотношенія теченій грузовъ и предѣльныхъ составовъ.

*) Изложенный принципъ проектированія профиля дороги только въ послѣднее время сталъ примѣняться при постройкѣ русскихъ желѣзныхъ дорогъ. Если не ошибаюсь, этотъ принципъ впервые полностью былъ примѣненъ при проектированіи и постройкѣ В.-Китайской желѣзной дороги.

въ обѣ стороны, поэтому, для каждаго участка дороги въ зависимости отъ сказанныхъ условій долженъ существовать определенный бесполезный пробѣгъ одиночныхъ паровозовъ, являющийся неустрашимымъ зломъ, не поддающимся влиянію тѣхъ или иныхъ эксплуатаціонныхъ факторовъ. Вліяніе одиночнаго пробѣга на стоимость вагоно-единице-версты уменьшается пользованіемъ возможно ббльшими составами поѣздовъ и возможно большей скоростью одиночнаго пробѣга, что понятно само по себѣ, такъ какъ, тѣмъ больше составы поѣздовъ, тѣмъ меньше общій пробѣгъ паровозовъ, а въ зависимости отъ послѣдняго и одиночный пробѣгъ паровозовъ. Съ другой стороны, чѣмъ болѣе скорость одиночнаго пробѣга, тѣмъ быстрѣе оборотъ паровозовъ, тѣмъ болѣе и работа, приходящаяся на каждый дѣйствующій паровозъ на дорогѣ.

З а к л ю ч е н і е .

Выполненіе предъявленныхъ на дорогѣ перевозокъ требуетъ каждый разъ извѣстной затраты работы вагоновъ, поѣздовъ и паровозовъ и съ этой точки зрѣнія можетъ быть расчленено на двѣ самостоятельныя задачи: 1) составленіе плана перевозокъ въ смыслѣ заданія тѣмъ или инымъ пробѣгомъ вагоновъ, груженымъ и порожнимъ, необходимымъ для выполненія перевозокъ; 2) самое выполненіе намѣченнаго заданія, въ смыслѣ затраты того или иного количества работы поѣздовъ и паровозовъ для заданнаго пробѣга вагоновъ. Такимъ образомъ, общій успѣхъ выполненія перевозокъ зависитъ, съ одной стороны, отъ наиболѣе цѣлесоотвѣтственнаго заданія, а съ другой, отъ наиболѣе экономнаго и цѣлесообразнаго выполненія такового.

Цѣлесоотвѣтственность заданія заключается въ возможно меньшемъ пробѣгѣ вагоновъ для выполненія перевозокъ. Минимумъ же пробѣга зависитъ отъ двухъ условій: 1) пол-

ногружности вагоновъ; 2) наименьшаго пробѣга порожнихъ. Если среднюю нагрузку вагонной единицы считать для пробѣга въ обѣ стороны, то величина ея будетъ служить характеристикой и степени полногружности вагоновъ, и количества порожняго пробѣга вагоновъ. Такъ какъ для данной дороги значеніе тары вагоновъ величина постоянная, то и соотношеніе общаго пробѣга вагонныхъ единицъ къ пробѣгу полезнаго груза, или, какъ мы ранѣе назвали, коэффициентъ полезнаго дѣйствія вагонной тары, будетъ зависѣть только отъ величины средней нагрузки вагонныхъ единицъ, опредѣляемой для пробѣга въ обѣ стороны. Если же степень полногружности вагоновъ сохраняетъ устойчивое значеніе, какъ это бываетъ при повагонныхъ отправахъ, то практическимъ показателемъ цѣлесоотвѣтственности заданія можетъ служить величина порожняго пробѣга вагоновъ.

Вторая задача выполненія перевозокъ, какъ сказано, заключается въ затратѣ наименьшей работы поѣздовъ и паровозовъ для выполненія заданія. Если за единицу работы принять поѣздо-часъ или паровозо-часъ, предполагая значеніе таковыхъ постояннымъ, то измѣрителемъ успѣшности выполненія заданія будетъ служить количество вагоно-единице-верстъ, приходящееся на часъ работы поѣздовъ и паровозовъ. Конечнымъ же измѣрителемъ успѣшности эксплуатаціонной работы должна служить стоимость получаемаго продукта—единицы перевозки. Въ общемъ выраженіи эксплуатаціонной стоимости вагоно-единице-версты или пудо-версты полезнаго груза нами была дана зависимость этой величины отъ ряда эксплуатаціонныхъ факторовъ, могущихъ имѣть перемѣнные значенія. Пользуясь этой формулой, можно было бы каждый разъ подсчитывать стоимость, какъ характеристику выполняемой работы, но такіе подсчеты едва ли бы были удобны на практикѣ, гдѣ имѣютъ большее значеніе хотя и приближенные, но болѣе

простые способы учета. Такъ какъ работа поѣздовъ и одиночныхъ паровозовъ между двумя распорядительными станціями можетъ быть раздѣлена на два самостоятельныхъ процесса: 1) производительную работу поѣздовъ на перегонахъ, 2) бесполезную работу поѣздовъ на стоянкахъ, то и учетъ работы поѣздовъ могъ бы касаться отдѣльно каждой части поѣздной работы, но ради простоты учета можно допустить, что стоимости часа работы поѣздовъ на перегонахъ и на стоянкахъ мало разнятся, равно какъ и работа паровозовъ въ поѣздахъ и одиночномъ пробѣгѣ. Тогда общая задача при работѣ поѣздовъ и паровозовъ на данномъ участкѣ между распорядительными станціями будетъ сводиться къ тому, чтобы на каждый паровозо-часъ получить возможно больше работы, выражаемой въ вагоно-единице-верстахъ, и соотвѣтствующій измѣритель работы поѣздовъ, отнесенный на общій паровозо-часъ, будетъ выражаться произведеніемъ средняго состава на среднюю коммерческую скорость. Эксплуатационная стоимость вагоно-единице-версты въ такомъ случаѣ можетъ быть выражена приближенно:

$$M_0 = \frac{S}{T} + \varepsilon X + \varepsilon \frac{Y}{W},$$

или

$$M_0 = \frac{S}{v_0 n_0} + \varepsilon X + \varepsilon \frac{Y}{W},$$

гдѣ S средняя стоимость паровозо-часа,

W — количество переработанныхъ вагоно-единице-верствъ,

T — общее количество паровозо-часовъ (въ поѣздахъ и при одиночномъ пробѣгѣ),

v_0 — средняя коммерческая скорость, отнесенная на общій паровозо-часъ,

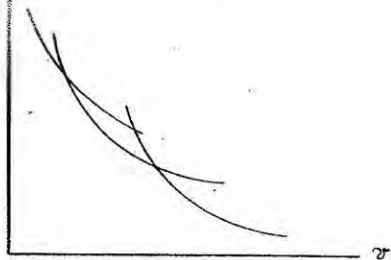
n_0 — средний составъ, отнесенный на общую паровозо-версту пробѣга.

Разсмотрѣнные условія работы поѣздовъ обнимають послѣднюю только въ предѣлахъ существованія поѣздо- или паровозо-часа, т. е. между распорядительными станціями, формирующими поѣзда. Поэтому, если разсматривать работу вагоновъ на всемъ протяженіи перевозки, то необходимо ее расчленить на работу въ поѣздахъ между распорядительными станціями и на простой на послѣднихъ. Въ тѣхъ случаяхъ, когда дорога испытываетъ недостатокъ подвижного состава, тогда пріобрѣтаетъ особое значеніе успѣшность оборота вагоновъ, понимая подъ этимъ словомъ промежутокъ времени отъ одной до слѣдующей нагрузки вагона, равный среднему отношенію количества дѣйствующаго инвентаря вагоновъ къ суточной вывозкѣ груженыхъ вагоновъ. Съ другой стороны, оборотъ вагоновъ обратно пропорціоналенъ средней скорости вагона, которая въ такомъ случаѣ представляетъ отношеніе даннаго пробѣга ко всему времени работы вагона, куда войдутъ какъ время въ поѣздахъ, такъ и простой на распорядительныхъ и сортировочныхъ станціяхъ. Чѣмъ больше число распорядительныхъ станцій проходитъ каждый вагонъ при одномъ и томъ же пробѣгѣ, тѣмъ большее значеніе пріобрѣтають простои подвижного состава на этихъ станціяхъ въ смыслѣ вліянія на общую скорость перевозки. Вмѣстѣ съ тѣмъ, на тѣхъ же распорядительныхъ и сортировочныхъ станціяхъ, куда какъ бы вливаются всѣ доставляемые поѣздами вагоны и здѣсь перерабатываются, на соотвѣтствующую переработку вагоновъ затрачивается маневровая работа паровозовъ, дающая тотъ или иной накладной расходъ на каждую вагоно-единицу. Такимъ образомъ, общая успѣшность выполняемыхъ дорожной перевозокъ обуславливается непосредственно слѣдующими

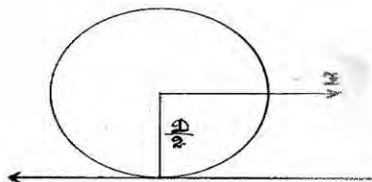
самостоятельными процессами работы: 1) работой поѣздовъ и паровозовъ между распорядительными станціями; 2) маневровой работой паровозовъ на послѣднихъ; 3) простоемъ подвижного состава на этихъ же станціяхъ.

К О Н Е Ц Ъ.

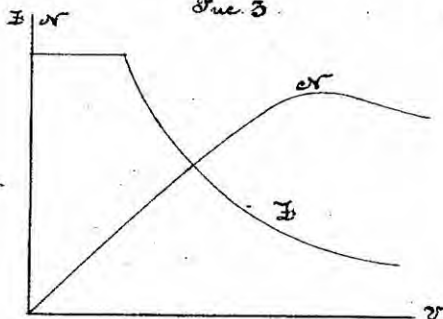
Puc. 1



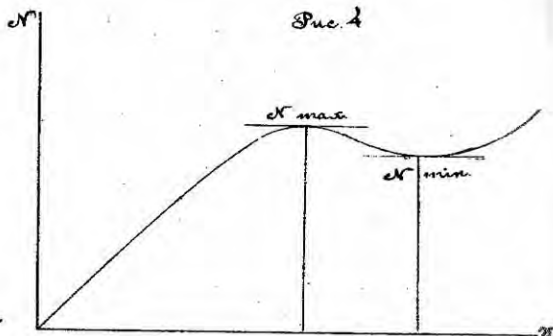
Puc. 2.



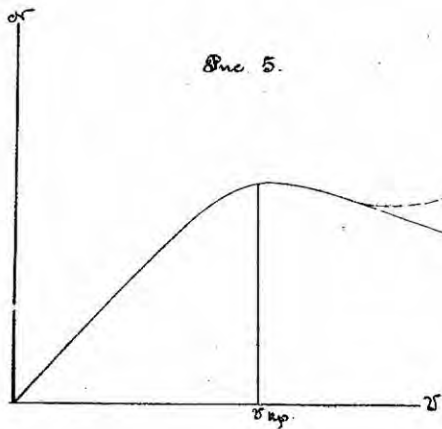
Puc. 3.



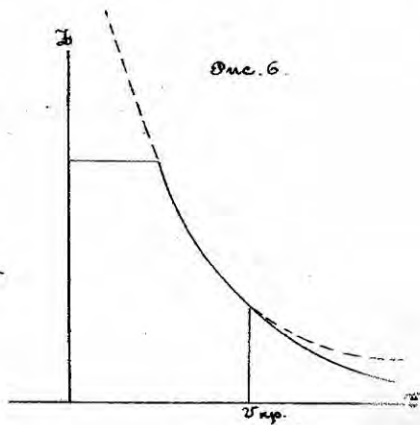
Puc. 4.

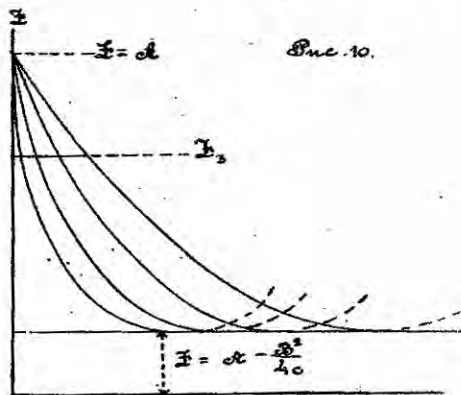
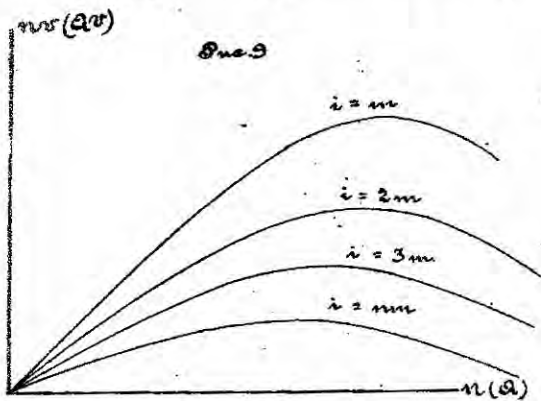
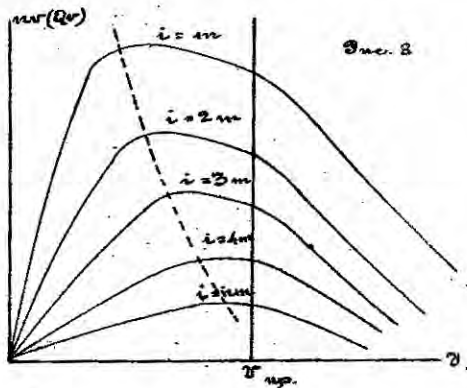
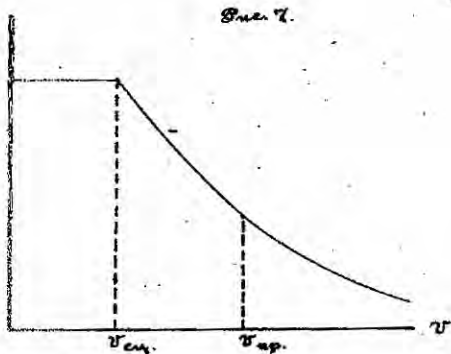


Puc. 5.

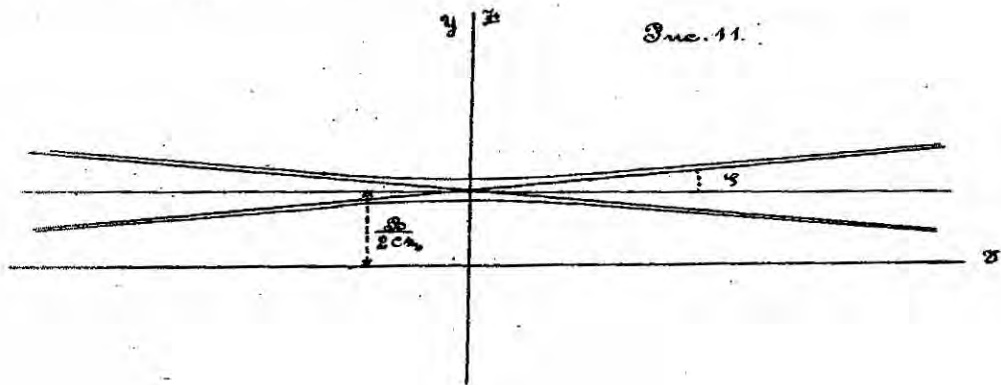


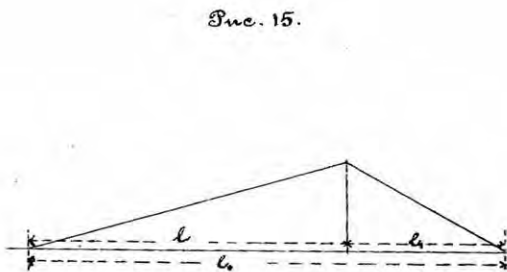
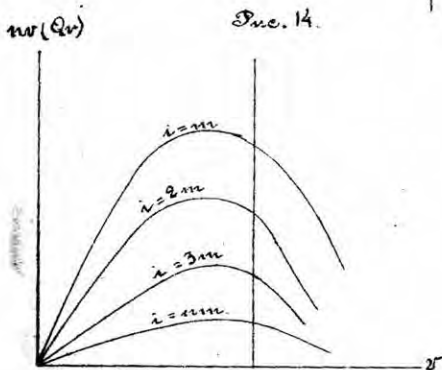
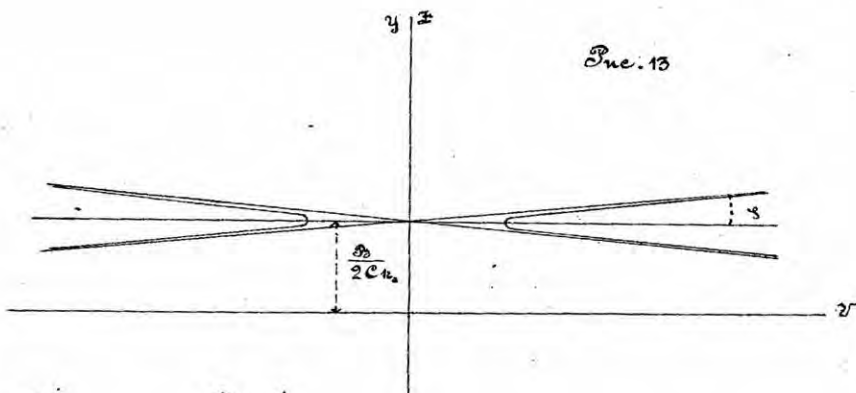
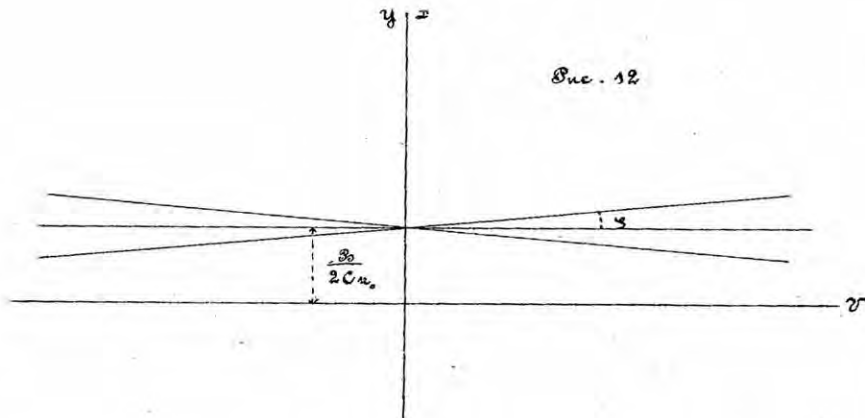
Puc. 6.



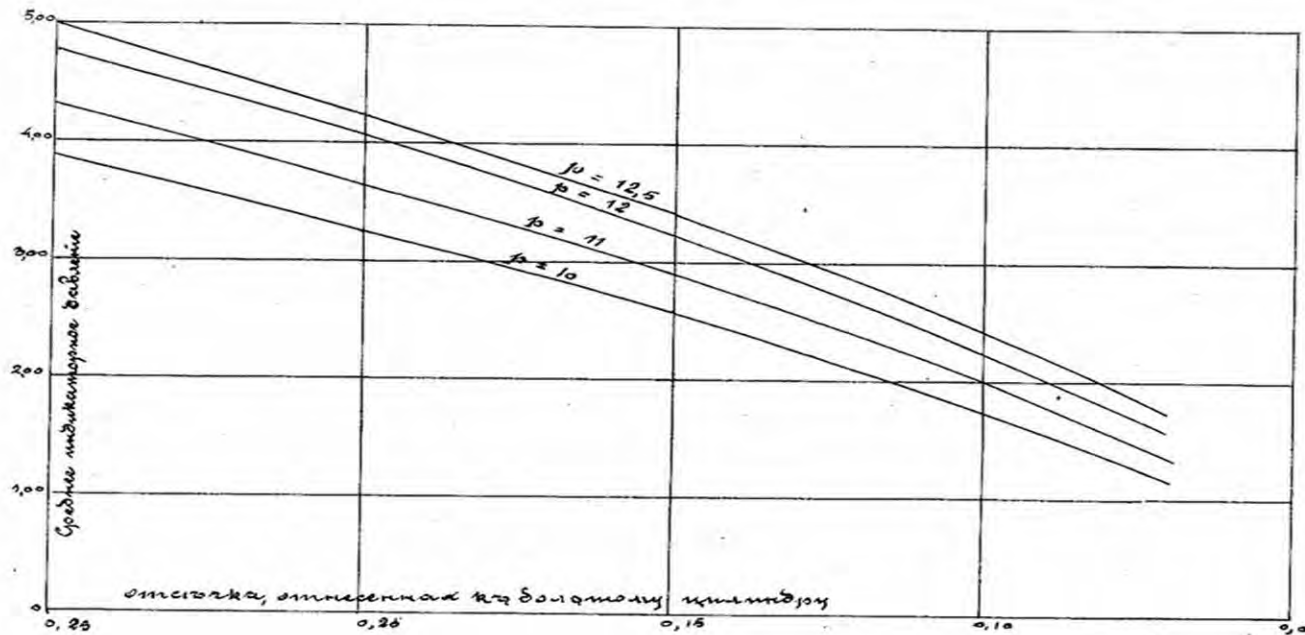


Que. 11.

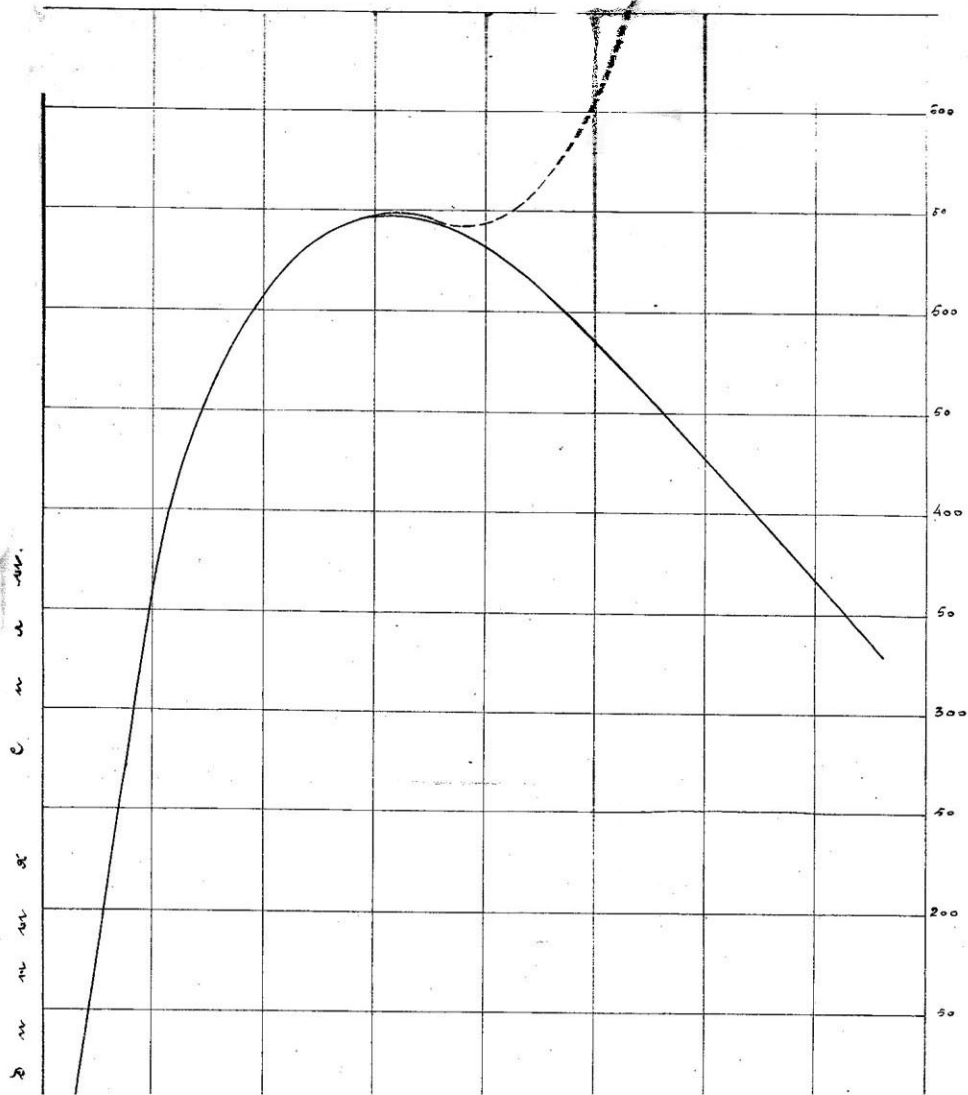


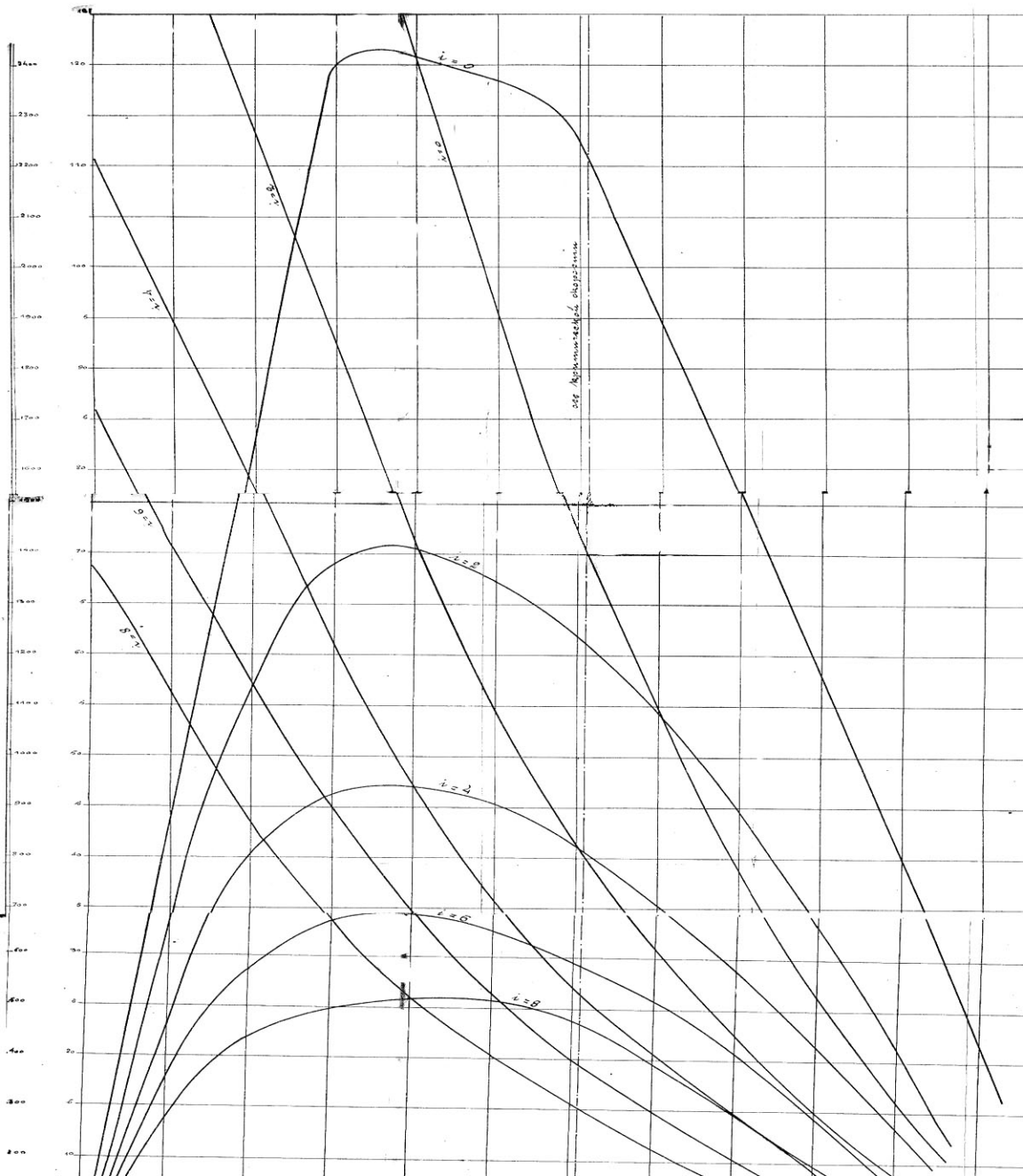


Шаг 1



2. Lep. 3





Чис. 5 и 6.

