

2 р. 85 к., пер. 35 к.

РУКОВОДСТВА ДЛЯ ТРАНСПОРТНЫХ ВТУЗОВ

656.22
Ш 87

Д. А. ШТАНГЕ

ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

ОДОБРЕНО ЦЕНТРАЛЬНЫМ
УПРАВЛЕНИЕМ КАДРАМИ НКПС

ОГИЗ-ГОСТРАНСИЗДАТ

1

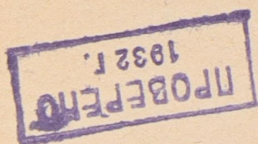
9

3

1

Д. А. ШТАНГЕ

621.131
Ш 87



ТЯГОВЫЕ РАСЧЕТЫ

ОДОБРЕНО ЦЕНТРАЛЬНЫМ
УПРАВЛЕНИЕМ КАДРАМИ НКПС

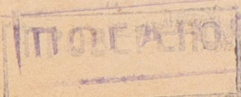


1 9



3 1

МОСКВА — ГОСТРАНСИЗДАТ — ЛЕНИНГРАД



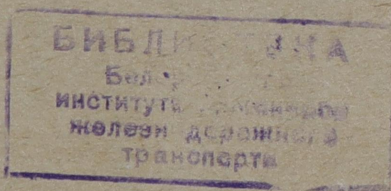
1975 X

ЗА КАЧЕСТВО ТЕХНИЧЕСКОЙ КНИГИ!

Формулы, текст и таблицы набраны 1-й ударной бригадой
учеников-формулистов 5-й типографии ОГИЗ'а на шестом месяце
обучения под руководством инструктора И. Д. Киселева.

6-я тип. ОГИЗ'а РСФСР
„Пролетарское слово“.
Москва, Каланч. туп., 3/5.

Уполн. Главлита Б-10981.
ОГИЗ 593/2281. Т-12. IV.
14 п. л. Тираж 10230 экз.
Редактор Я. Френкель.
Техн. ред. П. Хитров.



ОГЛАВЛЕНИЕ

	Стр.
Предисловие	7
ЧАСТЬ ПЕРВАЯ	
ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ (§§ 1 — 82)	
1. Общие понятия о тяговых расчетах (§§ 1, 2)	9
2. Силы, действующие на поезд (§ 3)	9
3. Сила тяги	10
Общие понятия (§§ 4, 5)	10
А. Сила тяги паровозов	
Общие понятия (§ 6)	11
1. Ограничение силы тяги по сцеплению (§ 7)	14
2. Ограничение силы тяги по котлу (§§ 8, 9)	15
3. Ограничение силы тяги по машине (§ 10)	24
4. Определение силы тяги по комбинациям открытия регулятора ϱ и отсечек ε (§ 11)	25
5. Сила тяги при двух и нескольких паровозах (§ 12)	26
Б. Сила тяги тепловозов	
Общие понятия (§ 13)	26
1. Ограничение силы тяги по сцеплению (§ 14)	26
2. Ограничение силы тяги по генератору энергии (§ 15)	27
3. Ограничение силы тяги по передаточному механизму (§ 16)	30
В. Сила тяги электровозов	
Общие понятия (§ 17)	31
1. Ограничение силы тяги по сцеплению (§ 18)	32
2. Ограничение силы тяги по моторам (§§ 19, 20)	32
4. Сопротивление поезда (§§ 21 — 25)	34
Общие понятия (§ 21)	34
1. Основное сопротивление (§ 22)	35
2. Сопротивление поезда при движении по уклону (§ 23)	39
3. Сопротивление поезда при движении по кривым участка пути (§ 24)	45
5. Тормозная сила (§§ 26 — 30)	46
Общие понятия (§ 26)	46
1. Торможение колодками тормоза (§ 27)	47
2. Торможение машиной локомотива (§§ 28 — 30)	49
6. Уравнение движения поезда (§§ 31 — 33)	50
7. Решение уравнения движения поезда (§§ 34 — 40)	55
Общие понятия (§ 34)	55
1. Графическое интегрирование уравнения движения поезда по способу Липца и Лебедева (§§ 35 — 37)	57
2. Графическое интегрирование уравнения движения поезда по способу Н. Н. Дегтерева (§ 38)	63
3. Графическое интегрирование уравнения движения поезда по способу Унрейна (§ 39)	67
4. Решение уравнения движения поезда графическим способом при установившихся скоростях движения (§ 40)	70

	Стр.
8. Тормозные задачи (§§ 41 — 48)	71
Общие указания (§ 41)	71
1. Определение числа тормозов по заданным v , i и s (§§ 42 — 45)	71
2. Определение скорости движения v на уклонах i при заданном числе тормозов и тормозном пути s (§ 46)	76
3. Определение уклонов i , по которым поезд может идти со скоростью v при заданном числе тормозов и тормозном пути s (§ 47)	77
4. Определение длины тормозного пути (§ 48)	77
9. Определение скорости движения и времени пробега перегонов и расчет пропускной способности (§§ 49 — 55)	77
Общие указания (§ 49)	77
1. Точный расчет времени пробега методом интегрирования уравнения движения (§ 50)	78
2. Определение времени пробега по установившейся скорости движения поездов на отдельных элементах профиля (графоаналитический способ) (§ 51)	78
3. Определение скорости движения по мощности локомотивов (§ 52)	81
4. Упрощенный способ определения времени пробега перегонов поездами (предварительный подсчет при изысканиях железных дорог) (§ 53)	83
5. Определение времени прохода перегона по способу эквивалентных подъемов (§ 54)	85
6. Расчет пропускной способности (§ 55)	86
10. Влияние конечной длины поезда (§ 56)	93
11. Определение расхода воды (§§ 57 — 61)	95
Общие понятия (§ 57)	95
1. Определение расхода пара по среднему котловому расходу в час (§ 58)	96
2. Определение расхода пара машиной по расходу пара за один ход поршня (§ 59)	98
3. Упрощенный способ определения расхода воды (предварительный подсчет при изысканиях железных дорог) (§ 60)	99
4. Определение расхода воды по водяному виртуальному коэффициенту (§ 61)	101
12. Определение расхода топлива и электрической энергии (§§ 62 — 64)	101
А. Определение расхода топлива паровозами (§ 62)	101
Б. Определение расхода топлива тепловозами (§ 63)	102
В. Определение расхода электрической энергии электровозами (§ 64)	103
13. Определение механической работы локомотива и виртуального коэффициента по механической работе (§§ 65 — 67)	104
14. Спрямление профиля (§§ 68 — 72)	106
Общие понятия (§ 68)	106
1. Выяснение и подсчет ошибки при определении времени хода поезда по спрямленному профилю (§ 69)	107
2. Выяснение и подсчет ошибки при определении механической работы локомотива по спрямленному профилю (§ 70)	112
3. Установление допускаемых ошибок p и r (§ 71)	113
4. Порядок производства работы по спрямлению профиля и определению ошибок (§ 72)	115
15. Определение состава поезда (§§ 73 — 82)	116
Общие понятия (§ 73)	116
1. Определение наибольшего состава поезда, соответствующего данному локомотиву, профилю и трассе линии (§§ 74 — 77)	116
Основной расчет (§ 74)	116
Прохождение участка пути с крутым подъемом за счет живой силы поезда (§ 75)	117
Прохождение участка пути за счет запаса пара в котле паровоза (§ 76)	118
Увеличение силы тяги путем применения добавочных локомотивов (§ 77)	118
2. Определение состава поезда, соответствующего наибольшей пропускной способности (§§ 78 — 81)	119
Основной расчет (§ 78)	119
Определение состава поезда, соответствующего наибольшей пропускной способности при однородном профиле (§ 79)	122
То же при ломаном профиле для двупутной линии (§ 80)	123
То же при ломаном профиле для однопутной линии (§ 81)	124
3. Определение состава поезда, соответствующего наименьшей стоимости перевозок (§ 82)	125

ЧАСТЬ ВТОРАЯ

ПРИМЕРЫ ПРОИЗВОДСТВА ТЯГОВЫХ РАСЧЕТОВ (§ 83)

Задача № 1

Производство тяговых расчетов для товарного поезда, ведомого паровозом сер. Э (§§ 83 — 104)	127
---	-----

I. Задание (§ 83)	127
-----------------------------	-----

II. Определение основных данных (§§ 84 — 93)

1. Построение диаграммы силы тяги паровоза (§ 84)	127
2. Определение состава поезда (§ 85)	128
3. Определение значений силы тяги (§ 86)	131
4. Определение сопротивления поезда (§ 87)	131
5. Определение числа тормозов и тормозного усилия (§ 88)	131
6. Определение ускоряющих усилий (§ 89)	134
7. Определение предельной допускаемой скорости движения (§ 90)	134
8. Определение установившихся скоростей движения и времени прохода 1 км на различных элементах профиля (§ 91)	137
9. Определение расхода пара на различных элементах профиля (§ 92)	138
10. Проверка возможности преодоления крутого подъема за счет живой силы поезда и займа у котла (§ 93)	142

III. Спрямление профиля (§ 94)	143
--	-----

V. Определение времени прохода перегона АВ и расхода воды и топлива

(§§ 95 — 103)	157
1. Определение времени пробега по способу Липца и Лебедева (§ 96)	157
2. Определение времени пробега по комбинациям открытия регулятора и отсечек (§ 98)	160
3. Определение времени пробега по способу Н. Н. Дегтерева (§ 100)	163
4. Определение времени пробега и расхода воды по способу установившейся скорости движения поездов на разных уклонах (по графоаналитическому способу (§ 101)	172
5. Определение времени пробега и расхода воды по упрощенному способу (§ 102)	173
6. Сводка результатов подсчетов по различным способам (§ 103)	176

V. Определение механической работы паровоза, среднего сопротивления и виртуального коэффициента перегона (§ 104)	176
--	-----

Задача № 2 (§ 105)

Определение условий остановки поезда на улавливающем тупике с учетом длины поезда (§ 105)	178
---	-----

Задача № 3 (§ 106)

Определение состава поезда, соответствующего наибольшему возможному количеству перевозок (§ 106)	180
--	-----

ПРИЛОЖЕНИЯ

1. Таблицы главных данных и размеров паровозов, тепловозов и электровозов	188
2. Диаграммы силы тяги, расходы пара, топлива, индикаторных коэффициентов из паспортных книжек локомотивов	192
3. Таблица условных обозначений основных величин	212
4. Специальные термины, относящиеся к тяговым расчетам, на иностранных языках	218
5. Греческий алфавит	222
6. Таблица перевода верст в километры и сажень в метры	223

ПРЕДИСЛОВИЕ

Настоящая книга составлена применительно к программе курса „тяговые расчеты“, читаемого на тяговом и эксплуатационном факультетах Московского института инженеров транспорта имени Ф. Э. Дзержинского, на основании опыта занятий со студентами.

В конце книги помещены примеры производства тяговых расчетов. Задания для примеров взяты такими, чтобы по возможности проработать все отделы теоретической части.

С целью дать возможность использовать эту книгу также и в качестве пособия для производства тяговых расчетов на транспорте, в нее включены требования и нормы, указанные в правилах производства тяговых расчетов НКПС.

С этой же целью в книге помещены два дополнительных параграфа: „Элементарный вывод уравнения движения поезда“ (§ 32) и „Элементарный вывод построения кривых скорости движения и времени хода поезда по способу Липеца и Лебедева“ (§ 37). Эти параграфы включены с целью дать возможность вполне сознательно производить основные тяговые расчеты техникам и вообще лицам, незнакомым с основными понятиями высшей математики.

В качестве материалов по вопросам, относящимся к тяговым расчетам, можно указать:

Ю. В. Ломоносов — Тяговые расчеты.

Его же — Опытные исследования паровозов.

Супруненко — Тяговые расчеты.

В. Ф. Егорченко — Тяговые расчеты.

Его же — Расчеты количества тормозных осей в товарных поездах на ручных тормозах.

Б. Д. Воскресенский и *Д. Д. Буданов* — Основные начала железнодорожного транспорта.

Их же — Уплотнение работы поездов, паровозов и провозных способностей.

В. О. Вяземский — Тяговые расчеты.

К. А. Оппенгейм — Проектирование железных дорог.

Труды Научно-технического комитета НКПС. Результаты опытов над паровозами.

Ю. Ломоносов — Тепловоз Ю^э № 001.

Его же — Опыты 1925 года над тепловозом Ю^э № 001.

Л. Н. Бернацкий — Электрические железные дороги.

Д. Штанге

ЧАСТЬ ПЕРВАЯ

ТЕОРЕТИЧЕСКАЯ ЧАСТЬ

1. Общие понятия о тяговых расчетах

1. Целью тяговых расчетов является решение задач, относящихся к движению поезда и работе локомотива. Из них основными являются следующие:

- 1) определение состава поезда;
- 2) определение скорости движения;
- 3) определение времени прохода перегонов;
- 4) решение тормозных задач;
- 5) определение расхода воды;
- 6) определение расхода топлива или электрической энергии (для электровозов);
- 7) определение механической работы локомотивов и виртуального коэффициента по механической работе.

2. Как и при всяких технических расчетах, решение тяговых задач производится с известным приближением. Точность вычислений при тяговых расчетах ограничивается степенью точности основных данных и формул, которыми приходится пользоваться. Степень точности основных данных не превосходит 1%, что и следует считать крайним пределом точности при тяговых расчетах.

При расчетах достаточно принимать длины элементов профиля в целых метрах, перегонные расстояния — в десятках метров, уклоны — в десятитысячных, вес поезда — с округлением до 5 т, поперегонное время хода поездов — в минутах, а при очень частых остановках (для пригородных поездов) — с округлением до 0,5 минуты, расход воды и топлива на перегоне — в десятках килограммов.

2. Силы, действующие на поезд

3. Для приведения поезда в движение, поддержания этого движения и увеличения скорости к поезду должна быть приложена определенная сила, которая называется *силой тяги* (обозначается буквой F). Она является результатом работы локомотива и всегда действует в сторону движения поезда. Этой силе противостоит *сопротивление поезда* (обозначается буквой W), которое имеет место как при трогании поезда, так и во время движения. К сопротивлению поезда относится также влияние веса поезда при движении его на подъем или по спуску. В последнем случае при достаточно крутых спусках влияние веса может способствовать скатыванию поезда, т. е. расчетное сопротивление поезда будет направлено в сторону движения. Во всех остальных случаях сила сопротивления направлена в сторону, противоположную направлению движения.

Кроме указанных сил для уменьшения скорости или остановки поезда применяют искусственное сопротивление в виде *тормозной силы* (обозначается буквой B), которая всегда направлена в сторону, противоположную направлению движения. Таким образом, на поезд могут действовать три силы, равнодействующая которых равняется:

$$F \pm W - B.$$

В зависимости от знака равнодействующей, поезд будет стоять или двигаться с установившейся скоростью, если $(F \pm W - B) = 0$, двигаться с увеличивающейся скоростью, если $(F \pm W - B) > 0$, и двигаться с уменьшающейся скоростью, если $(F \pm W - B) < 0$.

Все три силы бывают приложены одновременно лишь в исключительных случаях, — при опытных поездках или в случаях необходимости остановиться точно в определенной точке (подвести тендер к гидравлической колонне). Большой частью встречаются комбинации сил $(F \pm W) > W$ и $(\pm W - B)$.

Как было указано, под влиянием этих сил происходит движение поезда. Для решения тяговых задач нужно знать зависимость между действующими силами и скоростью движения, т. е. нужно иметь возможность выразить эти силы в функции от скорости движения. Эта зависимость выражается в виде формул или графически, в виде диаграмм. В последнем случае принято по оси абсцисс откладывать значения скоростей, а по оси ординат значения сил (черт. 4, 6, 7).

Для решения тяговых задач часто бывает удобнее иметь значения не полных сил, а величины сил, отнесенные к единице веса поезда (к 1 т веса). Эти величины называются *удельными* (и обозначаются теми же буквами, но малыми): *удельная сила тяги* (f), *удельное сопротивление* (w), *удельное тормозное усилие* (b).

Они также должны быть выражены в функции от скорости движения поезда в виде формул или графически — диаграммами.

Алгебраическая сумма их $(f \pm w - b)$ называется *ускоряющим* или *замедляющим усилием*, в зависимости от знака.

3. Сила тяги

4. Сила тяги является результатом преобразования тепловой или электрической энергии в механическую работу машиной локомотива. Мощность генератора (источника) энергии, составляющая N лошадиных сил в час, может быть использована для перемещения поезда. Механическая работа по перемещению поезда в единицу времени равняется $F \cdot v$, где v — скорость поезда, т. е. путь (число километров), проходимый в час. Для перевода произведения $F \cdot v$ в лошадиные силы нужно выразить его в килограммометрах в секунду, разделенных на 75, т. е. помножить на

$$\frac{1000}{60 \cdot 60 \cdot 75} = \frac{1}{270}.$$

На основании сказанного можно написать равенство:

$$N = \frac{F \cdot v}{270}, \text{ или } F = \frac{270N}{v}. \quad (1)$$

Это равенство показывает, что при определенной мощности генератора энергии локомотива сила тяги зависит от скорости движения. Эта зависимость определяет первое ограничение силы тяги, — по генератору (источнику) энергии.

Вторым ограничивающим фактором силы тяги является машина локомотива, преобразующая тепловую или электрическую энергию в механическую работу.

Машина локомотива передает работу колесам, заставляя их вращаться. Так как между поверхностью катания бандажей и рельсами получается сила трения, то колеса, вращаясь, начинают катиться по рельсам, при чем точка касания является мгновенным центром, около которого поворачивается колесо. Сила, приложенная к ободу колес и заставляющая их катиться по рельсу и передвигать локомотив, является силою тяги. Колеса будут катиться лишь в том случае, если эта сила не превзойдет силы трения бандажей о рельс, в противном случае колесо будет вращаться на месте (боксовать). Так как сила трения зависит от физических свойств трущихся поверхностей (от коэффициента трения φ) и от величины силы, с которой поверхности прижимаются друг к другу, — в данном случае от веса локомотива $P_{\text{л}}$, передающегося на рабочие оси (сцепного веса), то сила тяги не должна превосходить $\varphi \cdot P_{\text{л}}$. Это условие является третьим ограничением силы тяги, — по сцеплению.

Таким образом, высший предел силы тяги, который может быть осуществлен локомотивом, ограничивается:

- 1) мощностью генератора (источника) энергии;
- 2) мощностью машины;
- 3) сцепным весом.

Очевидно, что при определении силы тяги должно быть взято наименьшее из этих трех значений силы тяги.

5. Сила тяги, приложенная к ободу колес, совершает за один оборот колес работу, равную $\pi \cdot D \cdot F$, где D — диаметр движущих колес. Если приравнять эту работу работе машины $N_{\text{м}}$ за один оборот колеса, то получим: $\pi D F = N_{\text{м}}$, откуда $F = \frac{N_{\text{м}}}{\pi D}$. Эта фиктивная сила, мысленно прило-

женная к ободу колеса, является полной силой тяги, которую может дать машина локомотива (для паровоза она называется *индикаторной* силой тяги и обозначается F_i). На самом деле часть этой силы расходуется на преодоление трения в частях машины (сопротивления машины локомотива), вследствие чего на ободу колеса действует несколько меньшая сила тяги, которая называется *касательной силой тяги*, или *силой тяги на ободу* (обозначается буквой $F_{\text{к}}$). Часть этой силы расходуется на преодоление сопротивления локомотива как повозки; следовательно, сила тяги, которая передается на крюк тендера и служит для передвижения вагонов, является еще несколько меньшей величиной; она называется *полезной* или *динамометрической силой тяги*, или *силой тяги на крюке* (обозначается буквой $F_{\text{п}}$).

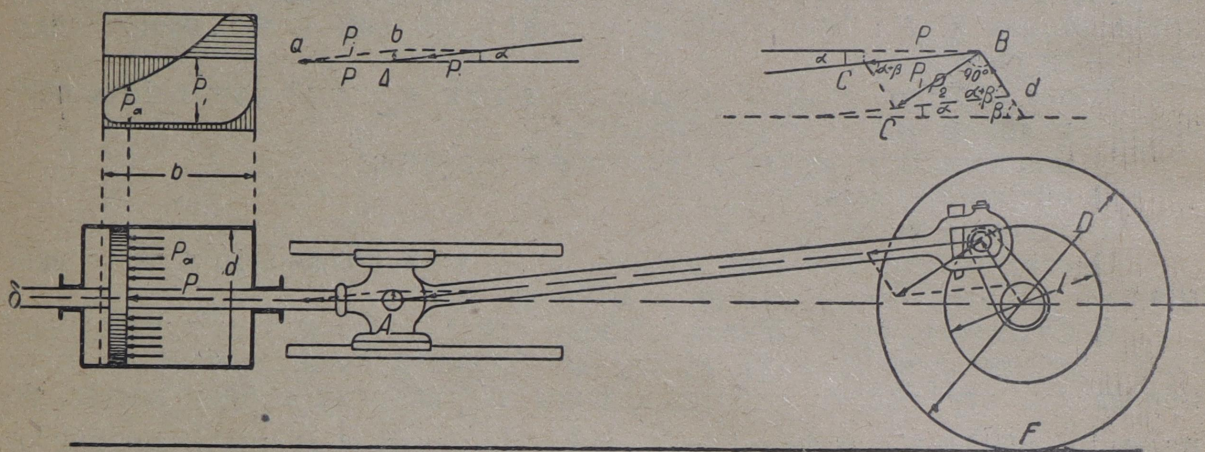
Для расчета удобнее всего пользоваться касательной силой тяги, так как в этом случае в уравнение движения поезда должно быть включено лишь сопротивление локомотива как повозки, т. е. получается выражение сопротивления, однородное с сопротивлением вагонов. При пользовании индикаторной силой тяги в уравнение движения поезда нужно включать также сопротивление машины локомотива, а при пользовании силой тяги на крюке нужно исключать сопротивление локомотива как повозки на горизонтальном прямом пути.

А. СИЛА ТЯГИ ПАРОВОЗОВ

6. В паровозах сила тяги является результатом работы пара в цилиндрах паровой машины, которая совершается следующим образом (черт. 1). При определенном положении поршня и соответствующем положении парораспределительного механизма давление пара, наполняющего цилиндр, составляет p_a (оно может быть определено по индикаторной диаграмме). Это

давление пара передается поршню цилиндра с силой $P = \frac{\pi \cdot d^2}{400} p_a$ ¹⁾, где d — диаметр цилиндра (в миллиметрах). Эта сила передается при помощи штока через крейцкопф движущему дышлу. Если движущее дышло AB составляет с продолжением оси цилиндра угол α , то сила, передающаяся дышлу, составляет: $P_1 = \frac{P}{\cos \alpha}$. Кроме этой силы получается сила Ab , прижимающая крейцкопф к параллелям; она направлена вверх при переднем ходе и вниз при заднем ходе. Сила P_1 передается при помощи дышла AB пальцу кривошипа, где разлагается на две составляющие силы: Bd , сжимающую или растягивающую кривошип, и $Bc = P_2$, касательную к окружности, описываемой центром пальца кривошипа. Если средняя линия кривошипа OB составляет с направлением оси цилиндра угол β , то:

$$P_2 = P_1 \cdot \sin(\alpha + \beta) = P \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha} = \frac{\pi d^2}{400} p_a \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}.$$



Черт. 1.

Сила P_2 создает относительно оси колеса (O) момент $P_2 \cdot \frac{l}{2}$ (где l — ход поршня), вращающий колесо. На ободу колеса получается сила тяги F , при вращении колеса заставляющая его перемещаться вместе с локомотивом. Момент этой силы относительно оси колеса составляет $F \cdot \frac{D}{2}$ (где D — диаметр ведущего колеса). Этот момент равен моменту силы P_2 , т. е. $F \cdot \frac{D}{2} = P_2 \cdot \frac{l}{2}$, откуда:

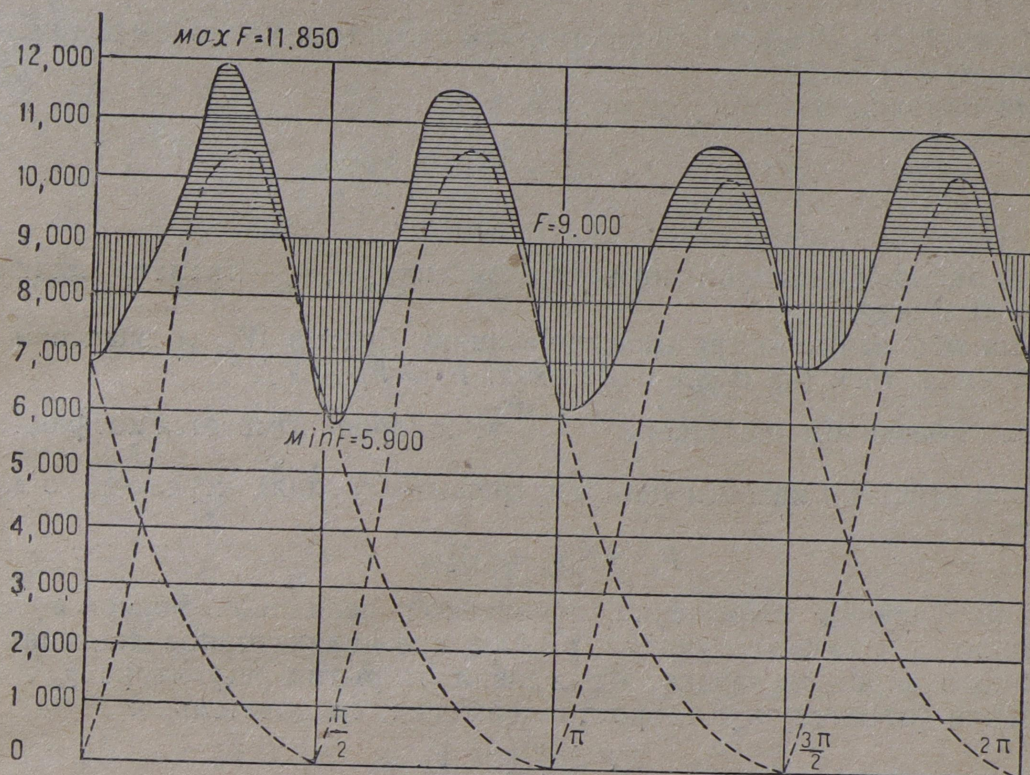
$$F = \frac{P_2 l}{D} = \frac{\pi d^2}{400} \cdot \frac{l}{D} \cdot p_a \frac{\sin(\alpha + \beta)}{\cos \alpha}.$$

Как видно из полученного выражения, сила тяги за один оборот колеса меняется от нуля [при $p = 0$ и $\sin(\alpha + \beta) = 0$] до какого-то наибольшего возможного значения. Так как у паровозов бывает не менее двух цилиндров, при чем пальцы их кривошипов насажены под определенными углами (при двух цилиндрах — 90° , при трех — 60°), то общее значение силы тяги в каждый момент равно сумме значений этих сил по всем цилиндрам. На черт. 2 показано изменение силы тяги за один оборот колес для паровозов сер. Э при вполне открытом регуляторе, при отсечке 0,30, при скорости движения $v = 20$ км/ч. Как видно из этой диаграммы, вели-

¹⁾ Действительная величина давления пара составляет: $P = \frac{\pi(d^2 - d_w^2)}{400} p_a$, где $\frac{\pi d_w^2}{4}$ — площадь, занимаемая штоком, составляющая около 3%. В дальнейших расчетах эта величина учитывается.

чина силы тяги изменяется в некоторых пределах за один оборот колес. При малых скоростях это колебание силы тяги отражается на плавности хода поезда, при больших скоростях инерция массы поезда уравнивает эти колебания.

При производстве расчетов нам интересно знать средние значения силы тяги за один оборот колес. Это значение силы тяги может быть получено из сравнения работы пара в цилиндрах паровой машины и работы силы тяги на ободе колес за один оборот движущих колес. Работа машины



Черт. 2.

паровоза (однократного расширения) с n паровыми цилиндрами при среднем индикаторном давлении в цилиндрах p_i (черт. 1) за один оборот колес составит (за два хода поршня каждого цилиндра):

$$n \cdot 2 \cdot \frac{\pi \left(d^2 - \frac{d_{ш}^2 + d_{кш}^2}{2} \right)}{400} \cdot p_i \cdot l = n \cdot \frac{\pi \left(d^2 - \frac{d_{ш}^2 + d_{кш}^2}{2} \right) l}{200} \cdot p_i,$$

где d — диаметр поршня, $d_{ш}$ — диаметр штока, $d_{кш}$ — диаметр контрштока.

Площадь поршня, отнимаемая штоком и контрштоком, составляет около 3%, вследствие чего можно принять:

$$\left(d^2 - \frac{d_{ш}^2 + d_{кш}^2}{2} \right) = 0,97d^2.$$

Работа силы тяги, приложенной к ободу колеса, составляет за один оборот колес $F_i \pi D$. Приравнявая друг другу эти значения работ, получим:

$$F_i \pi D = 0,97n \frac{d^2 \pi l}{200} p_i,$$

откуда:

$$F_i = 0,97n \frac{d^2 \cdot l}{200 D} p_i. \quad (2)$$

Формула (2) представляет собой выражение индикаторной силы тяги.

Если обозначить отношение среднего индикаторного давления в цилиндрах к манометрическому давлению в котле буквой ξ (оно называется индикаторным коэффициентом), то получим:

$$F_i = 0,97n \frac{d^2 l}{200D} p_k \cdot \xi.$$

Величина $\frac{n \left(d^2 - \frac{d_{iu}^2 + d_{ку}^2}{2} \right)}{200D} l \cdot p_k$ называется модулем машины (обозначается буквой M). Значение индикаторной силы тяги может быть представлено в виде: $F_i = M\xi$.

Для паровозов компаунд модуль равняется:

$$M = \frac{n_n \left(d_n^2 - \frac{d_{iu}^2 + d_{ку}^2}{2} \right) l \cdot p_k}{200D},$$

где n_n — число цилиндров низкого давления и d_n — диаметр цилиндров низкого давления.

Если обозначим сопротивление машины буквой W_m , то значение касательной силы тяги (на ободу) составит: $F_k = F_i - W_m$.

Если обозначим отношение $\frac{F_i - W_m}{F_i}$, которое называется коэффициентом полезного действия машины (или внутреннего трения), через η_m , то можем написать:

$$F_k = F_i \eta_m = M\xi\eta. \quad (3)$$

В полученном выражении переменной величиной является только коэффициент ξ , соответствующий p_i . Среднее индикаторное давление пара для данного паровоза зависит от степени открытия регулятора q , степени расширения (отсечки) ε и скорости движения, следовательно:

$$F = f(q, \varepsilon, v).$$

Эта зависимость может быть выяснена только опытным путем. С этой целью проф. Ю. В. Ломоносовым были организованы опытные обследования наиболее ходовых типов паровозов. Результаты этих опытов в виде диаграмм помещены в паспортных книжках паровозов.

Величина ξ или p_i , а следовательно, и комбинации открытия регулятора и отсечки при соответствующих скоростях должны быть подобраны таким образом, чтобы значения F не выходили из пределов возможных ограничений, указанных выше, по сцеплению, по котлу и по машине.

1. Ограничение силы тяги по сцеплению

7. Для предупреждения боксования колес наибольшая величина силы тяги не должна превосходить трения между колесами и рельсами, т. е. должно быть соблюдено условие $\max F_k \leq 1000\varphi_0\Pi$, где Π — часть веса паровоза (в тоннах), передающаяся на рабочую ось, φ_0 — коэффициент трения между бандажами и рельсами. Для увеличения веса, передающегося на рабочие оси, в паровозах работу машины распределяют между несколькими осями при помощи сцепных дышл; общий вес, передающийся на рабочие оси, составляет: $P_k = \Sigma\Pi$. Коэффициент φ_0 зависит от физических свойств трущихся тел и состояния их поверхностей (сухие, мокрые, смазанные, чистые, посыпанные песком).

Как было указано выше, значение силы тяги меняется за один оборот колеса в пределах от $\min F_k$ до $\max F_k$, при чем пользоваться приходится средним значением F_k (черт. 2), а ограничение принимать по $\max F_k$.

Если обозначим $\frac{\max F_k}{F_k} = 1 + \mu$, то получим ограничение силы тяги на ободу по сцеплению:

$$F_k = \frac{\max F_k}{1 + \mu} = 1000 \frac{\varphi_0}{1 + \mu} P_k = \psi_k 1000 P_k, \quad (4)$$

где $\psi_k = \frac{\varphi_0}{1 + \mu}$ называется коэффициентом сцепления. Как видно из приведенного выражения, коэффициент ψ_k зависит от отношения $\frac{\max F_k}{F_k}$, т. е. от колебания силы тяги за один оборот колес.

Чем лучше уравновешена машина, тем меньше величина μ и, следовательно, больше ψ_k ; поэтому ограничение силы тяги по сцеплению выше в трехцилиндровых и четырехцилиндровых паровозах с коленчатыми осями и еще выше в электровозах и тепловозах с соответствующим передаточным механизмом. Значения F_k приведены в паспортных книжках. Если таковых нет, то можно принимать следующие значения коэффициентов сцепления.

Т а б л и ц а 1.

Т и п м а ш и н ы	ψ_k	
	для товарных паровозов	для пассажир. паровозов
1. Несимметричная (компаунд) и паровозы Маллета.	$\frac{1}{6} = 0,167$	$\frac{1}{6,5} = 0,153$
2. Симметричная с 2 или 4 цилиндрами без коленчатой оси.	$\frac{1}{5,5} = 0,182$	$\frac{1}{6} = 0,167$
3. С 3 или 4 цилиндрами с коленчатой осью.	$\frac{1}{5,2} = 0,192$	$\frac{1}{5,5} = 0,182$

Приведенные нормы следует считать средними для неблагоприятных условий. При благоприятных условиях работы эти нормы должны быть повышены.

В сырых тоннелях коэффициент сцепления следует считать $\frac{1}{7}$.

Опыты Вихерта и Мюллера указывают, что коэффициент сцепления ψ меняется в зависимости от скорости движения. Понижение коэффициента сцепления, на основании опытных данных Вихерта и Мюллера, можно считать равным $-\Delta\psi = -0,00125v$.

Временно коэффициент сцепления можно повысить путем посыпки песка на рельсы; на некоторых паровозах делаются приспособления, позволяющие при малых скоростях увеличить нагрузку движущих осей за счет поддерживающих.

Для временного увеличения силы тяги (при трогании с места и на коротких, но крутых подъемах) на некоторых паровозах устанавливается бустер, представляющий собой дополнительную паровую машину, соединенную с поддерживающими осями паровоза или с осями тендера. Этим способом поднимается предел ограничения силы тяги по сцеплению, так как сцепной вес увеличивается, вместе с тем поднимается ограничение силы тяги по машине.

2. Ограничение силы тяги по котлу

8. Ограничение силы тяги по котлу определяется тем условием, что расход пара машиной в час не должен превосходить возможной часовой паропроизводительности котла zH , где z — интенсивность парообразования,

т. е. количество пара (в килограммах), получаемое в час с 1 м^2 поверхности нагрева $H \text{ м}^2$.

Ограничение расхода пара может быть осуществлено только путем соответствующего открытия регулятора q и степени наполнения (отсечки) ε при скорости движения v , которые определяют ξ , а следовательно:

$$F_{\kappa} = M \eta_m \xi = f(q, \varepsilon, v).$$

Ограничение силы тяги по котлу определяется на основании следующих соображений.

Если расход пара на одну лошадиную силу в час составляет $\left(\frac{U}{N_{\kappa}}\right) \text{ кг}$, то мощность паровоза по котлу составляет: $N_{\kappa} = \frac{zH}{\left(\frac{U}{N_{\kappa}}\right)}$.

С другой стороны, мощность паровоза составляет: $N_{\kappa} = \frac{F_{\kappa} v}{270}$ (см. § 4), следовательно, ограничение силы тяги по котлу составляет:

$$F_{\kappa} = \frac{270 N_{\kappa}}{v} = 270 \frac{zH}{\left(\frac{U}{N_{\kappa}}\right)} \cdot \frac{1}{v}.$$

Расход пара на одну лошадиную силу в час зависит от степени открытия регулятора, отсечки и скорости движения v , т. е.: $\left(\frac{U}{N_{\kappa}}\right) = \varphi(q, \varepsilon, v)$, следовательно:

$$F_{\kappa} = 270 \frac{zH}{\left(\frac{U}{N_{\kappa}}\right)} \cdot \frac{1}{v} = \psi(z, q, \varepsilon, v).$$

При тяговых расчетах пользование F_{κ} , выраженной функцией от четырех переменных, весьма сложно, поэтому желательно получить более простую зависимость силы тяги от скорости движения и парообразования котла в виде: $F_{\kappa} = \varphi_{\kappa}(z, v)$. Так как парообразование котла для определенного типа паровоза, рода топлива и режима отопления есть величина определенная, то выражение $F_{\kappa} = \varphi_{\kappa}(z, v)$ при каком-либо принятом значении z представляет собою зависимость силы тяги от скорости движения.

Непосредственно из опытов над паровозами могут быть получены значения $F_{\kappa} = f(q, \varepsilon, v)$ (черт. 4) и значения расхода пара на одну лошадиную силу в час $\left(\frac{U}{N_{\kappa}}\right) = \varphi(q, \varepsilon, v)$ (черт. 5). Для получения зависимости $F_{\kappa} = \varphi_{\kappa}(z, v)$ нужно из приведенных выражений исключить q и ε , что производится следующим образом.

Непосредственно из опытов можно получить значения расхода пара машиной за один ход поршня при различных q , ε и v , т. е.: $u = \varphi_{\kappa}(q, \varepsilon, v)$ (черт. 3).

С другой стороны, подсчетом можно определить для различных комбинаций q , ε и v допускаемый расход пара машиной за один ход поршня, который не должен превышать часовой паропроизводительности котла zH .

Обозначим число ходов поршней всех цилиндров за один оборот движущих колес через κ , число оборотов колес в час через x и расход пара за один ход поршня через u килограммов. Расход пара машиной в час составит: $U = \kappa \cdot x \cdot u \text{ кг}$, где число оборотов колес x определяется из равенства: $\pi \cdot D \cdot x = 1000000v$, откуда:

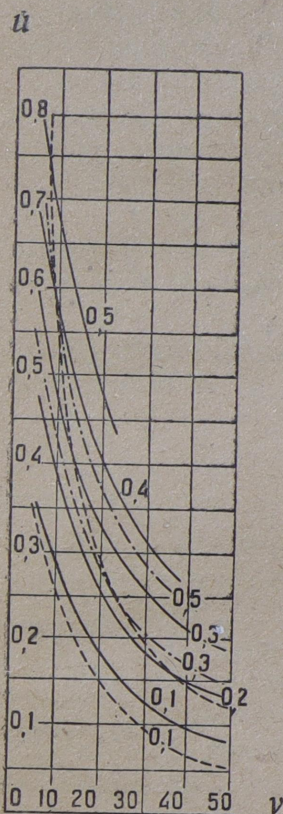
$$x = \frac{10^6 \cdot v}{\pi \cdot D} \text{ и } U = \frac{10^6 \cdot \kappa \cdot v}{\pi \cdot D} u \text{ кг}.$$

Этот расход пара не должен превышать часовой паропроизводительности котла zH , т.е.: $\frac{10^6 \cdot \kappa \cdot v}{\pi \cdot D} \cdot u = zH$, откуда: $u = \frac{\pi \cdot D \cdot zH}{10^6 \cdot \kappa \cdot v}$.

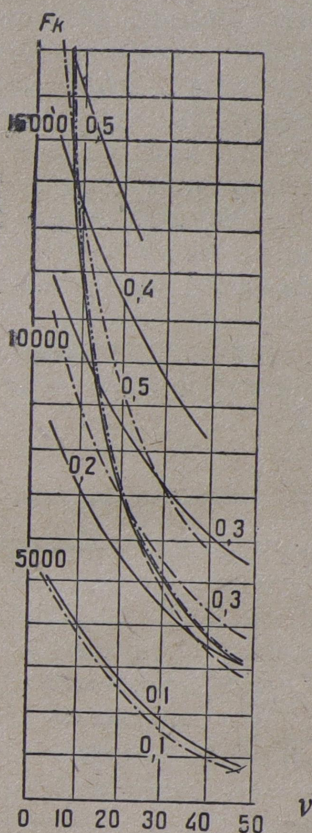
Этим выражением определяется допускаемый расход пара за один ход поршня.

Определив значение его для различных скоростей движения, построим кривую $u = \varphi_2(z, v)$ на диаграмме $u = \varphi_1(\varrho, \varepsilon, v)$ (черт. 3).

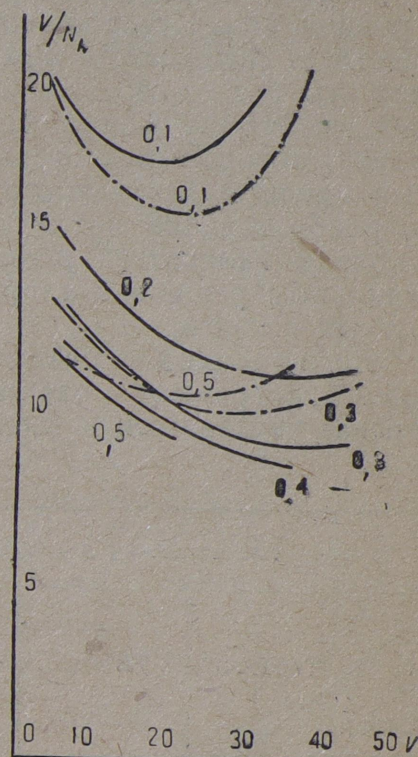
Точки пересечения кривой $u = \varphi_2(z, v)$ с кривыми $u = \varphi_1(\varrho, \varepsilon, v)$ дадут указания, какими значениями ϱ и ε при различных скоростях можно пользоваться для соблюдения условия неперевышения расхода пара в час zH .



Черт. 3.



Черт. 4.



Черт. 5.

1. При вполне открытом регуляторе —
2. При регуляторе, открытом на малый клапан, —

На черт. 3 построены кривые $u = \varphi_2(z, v)$ при $z = 30 \text{ кг/м}^2 \cdot \text{час}$ и $u = \varphi_1(\varrho, \varepsilon, v)$ для паровоза сер. Э, для которого $\kappa = 4$, $D = 1320 \text{ мм}$, $H = 194,4 \text{ м}^2$; следовательно:

$$\frac{\pi D H}{10^6 \cdot \kappa} = \frac{3,142 \cdot 1320 \cdot 194,4}{10^6 \cdot 4} = 0,202,$$

что при $z = 30$ дает:

$$u = 6,06 \frac{1}{v}.$$

Зная значения ϱ и ε , которые должны соблюдаться во избежание превышения расхода пара машиной сверх возможной паропроизводительности котла при определенных скоростях движения, на диаграмме $F_k = f(\varrho, \varepsilon, v)$ (черт. 4) на каждой кривой $F_k = f(\varrho, \varepsilon, v)$ отмечаются скорости v , соответствующие ϱ и ε , полученным из диаграмм $u = \varphi_2(z, v)$ и $u = \varphi_1(\varrho, \varepsilon, v)$ (черт. 3). Соединив отложенные точки на кривых $F_k = f(\varrho, \varepsilon, v)$, получим кривые значения $F_k = f_1(z, \varrho, v)$.

Для исключения ϱ нужно выбрать участки кривых $F_k = f_1(z, \varrho, v)$, соответствующие наименьшим значениям расхода пара на лошадиную силу

в час, для чего эти кривые нужно сопоставить с кривыми $\left(\frac{U}{N_k}\right) = \varphi(q, \varepsilon, v)$ и выяснить, при каких комбинациях v и q имеет место наименьший расход пара.

Соединяя плавной кривой выбранные отрезки кривых, получим кривую $F_k = \varphi_k(z, v)$, дающую значения F_k при разных скоростях, соответствующие парообразованию котла zH и наименьшему расходу пара на одну лошадиную силу. Полученная в виде диаграммы кривая зависимости силы тяги от парообразования котла и скорости движения определяет собою ограничение силы тяги по котлу.

Паропроизводительность котла для определенного типа котла зависит от рода и количества сжигаемого топлива. Для каждого типа паровозов существует зависимость между количеством сжигаемого в час топлива определенного рода и качества и количеством получаемого пара. Эта зависимость помещена в виде диаграммы в паспортных книжках паровозов. Количество топлива, которое можно сжечь в час при нормальных условиях работы, имеет пределы для данного типа паровоза и рода топлива, следовательно, и парообразование котла имеет известные пределы. Этот предел может несколько изменяться в зависимости от искусства топищика. Наиболее правильным решением вопроса является определение этих пределов путем опытных поездок.

Если таковых данных нет, то можно пользоваться значениями z_m (расход пара в килограммах в час машиной паровоза, отнесенный к 1 м^2 поверхности нагрева), указанными в таблице 2.

Т а б л и ц а 2.

Расчетные z_m для паровозов, не оборудованных водоподогревателями					
Топливо Серия паровоза	Нефть (мазут)	У	Г	Л	И
		хорошо спе- кающиеся и антрациты (плита и ку- лак)	газовые, уральские и неспекаю- щиеся	II сорта, подмоск. и длинно- пламенные	Дрова нор- мальные, с влажностью 25% — 30%
ОД, ОВ	35	32	28	23	27
Щ	36	31	27	22	27
ЫЧ	40	37	32	25	33
Э, ЭГ, ЭШ	42	38	33	27	35
Е	40	37	32	26	32
ӨЧ	42	38	33	28	35
НД НВ Ну	42	38	33	28	35
УУ	47	40	35	30	37
К, КУ	42	38	33	27	35
С, Б	42	38	33	27	35
СУ	47	42	37	30	35
Л	45	—	—	—	—
М	40	38	33	27	30

При наличии водоподогревателя цифры, помещенные в таблице 2, увеличиваются на 10%.

Указанные в таблице значения форсировок котла следует принимать при неблагоприятных условиях. При благоприятных условиях работы указанные значения должны быть повышены на 10 — 20%.

9. Если нужно произвести тяговые расчеты для паровоза, не имеющего опытных данных (паспортной книжки), то для определения силы тяги наи-

более рационально построить кривую силу тяги для этого паровоза на основании данных, имеющихся для паровоза подходящего типа. При выборе типа паровоза, данными которого предполагается пользоваться, рекомендуется принимать:

1) для паровозов с однократным расширением пара без перегрева — опытные данные паровоза типа 0—4—0 сер. О^о;

2) для паровозов компаунд без перегрева — опытные данные для паровозов 0—4—0 сер. О^в, 1—4—0 сер. Щ и 1—3—0 сер. Н^в;

3) для паровозов однократного расширения с перегревом — опытные данные для паровозов 0—5—0 сер. Э, 1—3—1 серии С, 2—3—0 сер. Б, 1—3—1 сер. С^у и 2—3—1 серии Л;

4) для паровозов компаунд с перегревом — опытные данные паровозов 0—4—0 сер. Ы^ч, 1—4—0 сер. Щ^ч и 2—3—0 сер. У^у.

Построение кривой силы тяги для какого-либо паровоза по такой же кривой паровоза соответствующего типа может быть произведено в предположении, что при одинаковых условиях работы, т. е. при одинаковых средних скоростях поршня c , открытиях регулятора q и отсечках ε , будут также одинаковыми величины:

$$\eta, \xi, \xi\eta_m, \xi m, \xi m\eta_m, \frac{U}{N_m} \text{ и } \frac{U}{N_i},$$

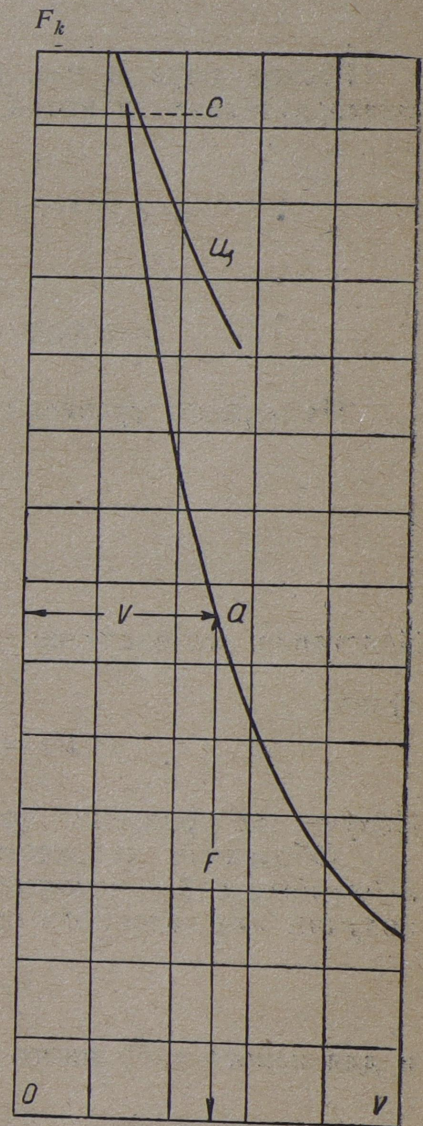
где m — отношение суммы полезных объемов цилиндров низкого давления к сумме полезных объемов цилиндров высокого давления для паровозов компаунд.

Если имеем кривую $F_k = \varphi_k(z, v)$ (черт. 6) для какого-либо паровоза, то точке a этой кривой будут соответствовать определенные значения F , v и z . Если мы имеем паровоз, по своему типу подходящий к данному, сила тяги которого будет меняться по такому же закону, как и для данного, то для нового паровоза мы можем принять такие же очертания кривых. Но очевидно, что значения F , v и z для той же точки будут иные. Для определения этих новых значений F , v и z нужно изменить масштаб диаграммы или перенести точку a , изменив соответственно ординаты точки a и определив для нее значения z . Изменение масштабов или ординат определяется на основании следующих соображений.

Величины F , v и z связаны определенными соотношениями. Для выяснения этих соотношений выразим значение силы тяги в зависимости от работы пара в цилиндрах, от скорости движения v и от величины z .

Сила тяги F , в зависимости от работы пара в цилиндрах, для паровозов с машиной однократного расширения составляет:

$$F_k = n \frac{\left(d^2 - \frac{d_m^2 + d_{km}^2}{2}\right) l}{200 D} p_k \eta_m \xi = M \eta_m \xi.$$



Черт. 6.

Расход пара за один оборот колес составляет:

$$\delta (0,001^3) \cdot 2 \cdot \frac{\pi \left(d^2 - \frac{d_{\text{м}}^2 + d_{\text{кш}}^2}{2} \right)}{4} \ln (\kappa z),$$

где δ — вес 1 м³ пара при давлении p_{κ} .

Число оборотов ведущих колес в час при скорости v составляет:

$$\frac{v \cdot 1\,000\,000}{\pi \cdot D}.$$

Расход пара в час, который не должен превышать часовой паропроизводительности котла zH , составляет:

$$\begin{aligned} \delta (0,001^3) \cdot 2 \cdot \frac{\pi \left(d^2 - \frac{d_{\text{м}}^2 + d_{\text{кш}}^2}{2} \right)}{4} \cdot l \cdot \varepsilon \cdot n \frac{v \cdot 10^3}{\pi \cdot D} = \\ 0,0005 \delta \cdot \frac{\left(d^2 - \frac{d_{\text{м}}^2 + d_{\text{кш}}^2}{2} \right) l}{D} \cdot \varepsilon \cdot n \cdot v = zH. \end{aligned}$$

Из первого уравнения имеем:

$$\frac{\left(d^2 - \frac{d_{\text{м}}^2 + d_{\text{кш}}^2}{2} \right) \ln}{D} = \frac{200 F_{\kappa}}{\eta_{\text{м}} \xi p_{\kappa}}.$$

Подставив это значение $\frac{\left(d^2 - \frac{d_{\text{м}}^2 + d_{\text{кш}}^2}{2} \right) \ln}{D}$ в выражение расхода пара, получим:

$$zH = 0,0005 \delta \frac{200 F_{\kappa}}{\eta_{\text{м}} \xi p_{\kappa}} \varepsilon v = \frac{0,1 \delta \cdot \varepsilon}{\eta_{\text{м}} \xi p_{\kappa}} F_{\kappa} v.$$

Полученное уравнение представляет собой зависимость между F_{κ} , v и z .

Обозначим индексом 0 величины для данного (исходного) паровоза и без индексов — искомые величины для какого-либо иного паровоза. Тогда получим для заданного паровоза:

$$z_0 H_0 = \frac{0,1 \delta_0 \varepsilon_0}{\eta_{\text{м}0} \xi_0 p_{\kappa 0}} \cdot F_0 v_0$$

и для какого-либо иного (нового) паровоза соответственно получим:

$$zH = \frac{0,1 \delta \varepsilon}{\eta_{\text{м}} \xi p_{\kappa}} F v.$$

Разделив второе уравнение на первое, получим:

$$\frac{zH}{z_0 H_0} = \frac{\frac{0,1 \delta \varepsilon}{\eta_{\text{м}} \xi p_{\kappa}}}{\frac{0,1 \delta_0 \varepsilon_0}{\eta_{\text{м}0} \xi_0 p_{\kappa 0}}} \cdot \frac{F v}{F_0 v_0}.$$

Так как предполагаются одинаковые условия работы, то $\varepsilon = \varepsilon_0$, $\xi = \xi_0$,

$$\eta_{\text{м}} = \eta_{\text{м}0} \text{ и } \frac{\frac{0,1 \varepsilon}{\eta_{\text{м}} \xi}}{\frac{0,1 \varepsilon_0}{\eta_{\text{м}0} \xi_0}} = 1; \text{ кроме того вес пара можно считать пропорциональ-}$$

ным его плотности, следовательно, и давлению, т. е.:

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \frac{p_{\kappa}}{p_{\kappa 0}} \text{ или: } \frac{\frac{\delta}{p_{\kappa 0}}}{\frac{\delta_0}{p_{\kappa 0}}} = 1.$$

Произведя соответствующие сокращения, получим:

$$\frac{zH}{z_0H_0} = \frac{Fv}{F_0v_0}, \text{ или: } \frac{Fvz_0}{F_0v_0z} = \frac{H}{H_0}.$$

Это выражение представляет собою зависимость отношений:

$$\frac{F}{F_0}; \quad \frac{v}{v_0} \quad \text{и} \quad \frac{z}{z_0}.$$

В паровозах компаунд соответственно получим: $F_{\kappa} = M\eta_m\dot{\xi}$ и расход пара за один оборот колес:

$$\delta(0,001^3) \frac{\pi \left(d_{\epsilon}^2 - \frac{d_{\text{ш}}^2 + d_{\text{кш}}^2}{2} \right) l}{4} \epsilon n_{\epsilon},$$

где d_{ϵ} — диаметр и n_{ϵ} — число цилиндров высокого давления, при чем:

$$\frac{\pi d_{\epsilon}^2}{4} \ln_{\epsilon} = \frac{\frac{\pi d_{\epsilon}^2}{4} \cdot \ln_{\epsilon}}{m}.$$

Сделав соответствующие подстановки и преобразования, получим:

$$zH = \frac{0,1\delta\epsilon}{\eta_m\dot{\xi}p_{\kappa}m} Fv$$

и соответственно отношение величин для двух паровозов:

$$\frac{zH}{z_0H_0} = \frac{\frac{0,1\delta\epsilon}{\eta_m\dot{\xi}p_{\kappa}m}}{\frac{0,1\delta_0\epsilon_0}{\eta_{m0}\dot{\xi}_0p_{\kappa 0}m_0}} \cdot \frac{Fv}{F_0v_0}.$$

В паровозах компаунд при одинаковых условиях работы пара $\eta_m\dot{\xi}m = \eta_{m0}\dot{\xi}_0m_0$, следовательно, также после соответствующих сокращений получим:

$$\frac{zH}{z_0H_0} = \frac{Fv}{F_0v_0}, \text{ или: } \frac{Fvz_0}{F_0v_0z} = \frac{H}{H_0}.$$

Отношение $\frac{F}{F_0}$ определяется из выражений $F_0 = M_0\dot{\xi}_0\eta_{m0}$ для исходного паровоза и $F = M\dot{\xi}\eta_m$ для искомого, откуда $\frac{F}{F_0} = \frac{M\dot{\xi}\eta}{M_0\dot{\xi}_0\eta_{m0}}$, а вследствие равенства $\eta_m\dot{\xi} = \eta_{m0}\dot{\xi}_0$ получим: $\frac{F}{F_0} = \frac{M}{M_0}$ (для паровозов с машинами однократного расширения). Для паровозов компаунд при соблюдении одинаковых условий работы имеет место равенство: $\eta_m\dot{\xi}m = \eta_{m0}\dot{\xi}_0m_0$, откуда $\frac{\eta_m\dot{\xi}}{\eta_{m0}\dot{\xi}_0} = \frac{m_0}{m}$; следовательно:

$$\frac{F}{F_0} = \frac{M\eta_m\dot{\xi}}{M_0\eta_{m0}\dot{\xi}_0} = \frac{Mm_0}{M_0m}.$$

Отношение $v:v_0$ определяется из условия сохранения одинаковых средних скоростей поршней.

Скорость движения $v = \frac{\pi D}{10^3} 60n$, где n — число оборотов движущих колес в минуту.

Отношение скоростей для двух паровозов составит:

$$\frac{v}{v_0} = \frac{\frac{\pi D}{10^3} \cdot 60n}{\frac{\pi D_0}{10^3} \cdot 60n_0} = \frac{Dn}{D_0 n_0}.$$

При одинаковых скоростях поршней пути, пройденные ими в единицу времени (в минуту), должны быть равны, следовательно: $ln = l_0 n_0$, откуда:

$$\frac{n}{n_0} = \frac{l_0}{l} \text{ и } \frac{v}{v_0} = \frac{D}{D_0} \cdot \frac{n}{n_0} = \frac{Dl_0}{D_0 l}.$$

Отношение $\frac{z}{z_0}$ получаем из равенства: $\frac{zH}{z_0 H_0} = \frac{F}{F_0} \cdot \frac{v}{v_0}$, заменяя отношения $\frac{F}{F_0}$ и $\frac{v}{v_0}$ полученными для них значениями. Сделав соответствующие подстановки, получим:

для паровозов с простой машиной:

$$\frac{z}{z_0} = \frac{Fv}{F_0 v_0} \cdot \frac{H_0}{H} = \frac{MDl_0 H_0}{M_0 D_0 l H};$$

для паровозов с машиной компаунд:

$$\frac{z}{z_0} = \frac{Mm_0 D l_0 H_0}{M_0 m D_0 l H}.$$

Для паровозов с перегревом при различной температуре перегрева должна быть введена соответствующая поправка. В этом случае вес пара определяется из условия: $pw = \delta RT$, где p — давление пара, w — объем, δ — вес, R — газовая постоянная и T — абсолютная температура.

Из этого уравнения получаем:

$$\delta = \frac{pw}{RT} = \frac{pw}{R(273 + t)},$$

где t° — температура пара.

Для двух паровозов получим:

$$\delta_0 = \frac{p_0 w}{R(273 + t_0)} \text{ и } \delta = \frac{pw}{R(273 + t)},$$

откуда:

$$\frac{\delta}{\delta_0} = \frac{p}{p_0} \cdot \frac{(273 + t_0)}{(273 + t)}.$$

Соответственно этому выведенное ранее выражение зависимости получится в виде:

$$\frac{Fvz_0}{F_0 v_0 z} = \frac{H}{H_0} \cdot \frac{(273 + t)}{(273 + t_0)} \text{ и } \frac{z}{z_0} = \frac{MDl_0 H_0 (273 + t_0)}{M_0 D_0 l H (273 + t)} \text{ — для паровозов с простой машиной и } \frac{z}{z_0} = \frac{MDl_0 H_0 m_0 (273 + t_0)}{M_0 D_0 l H m (273 + t)} \text{ — для паровозов с машиной компаунд.}$$

Таким образом, для построения кривой силы тяги для какого-либо паровоза по имеющейся кривой силы тяги мы должны изменить масштабы v и F и значения z или, оставив масштабы, изменить абсциссы и ординаты точек кривой F и значения z в следующем отношении.

Т а б л и ц а 3

		Отношение масштаба кривых силы тяги (или величин абсцисс и ординат точек кривых силы тяги) и значений z	
		Искомых F	Исходных F_0
Оси абсцисс (v)		Dl_0	D_0l
Для ординат (F).	Для паровозов с простой машиной	M	M_0
	Для паровозов с машиной компаунд	Mm_0	M_0m
Значения z .	Для паровозов с простой машиной без перегрева	MH_0Dl_0	M_0HD_0l
	Для паровозов с простой машиной с перегревом	$MH_0Dl_0(273 + t_0)$	$M_0HD_0l(273 + t)$
	Для паровозов с машиной компаунд без перегрева	$MH_0Dl_0m_0$	M_0HD_0lm
	Для паровозов с машиной компаунд с перегревом	$MH_0Dl_0m_0(273 + t_0)$	$M_0HD_0lm(273 + t)$

Если для построения кривой F требуется построить предварительно кривую расхода пара за один ход поршня $u = \varphi_1(q, \varepsilon, v)$, то кривая расхода пара также может быть построена по существующей кривой с соответствующим изменением масштабов.

При этом изменение масштаба скоростей определяется так же, как для кривых F . Изменение масштаба ординат (значений u) определяется из сравнения расхода пара двумя паровозами.

Расход пара за один ход поршня для паровозов с простой машиной составляет:

$$u = \delta(0,001^3) \cdot 2 \frac{\pi \left(d^2 - \frac{d_{\text{ш}}^2 + d_{\text{кш}}^2}{2} \right)}{4} \cdot l \varepsilon.$$

Из выражения $n \frac{\left(d^2 - \frac{d_{\text{ш}}^2 + d_{\text{кш}}^2}{2} \right) l}{200D} p_{\kappa} = M$, получаем:

$$\left(d^2 - \frac{d_{\text{ш}}^2 + d_{\text{кш}}^2}{2} \right) l = \frac{200MD}{np_{\kappa}}.$$

Подставляя эту величину в выражение расхода пара, получим:

$$u = \delta(0,001^3) \cdot \frac{200MD\pi}{2np_{\kappa}} \cdot \varepsilon.$$

Отношение расходов пара за один ход поршня для двух паровозов составит:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{\delta(0,001^3) \cdot \frac{200MD\pi}{2np_{\kappa}} \varepsilon}{\delta_0(0,001^3) \cdot \frac{200M_0D_0\pi}{2n_0p_{\kappa_0}} \varepsilon_0} = \frac{MD\delta n_0 p_{\kappa_0}}{M_0D_0\delta_0 np_{\kappa}}.$$

Принимая $\frac{\delta}{\delta_0} = \frac{p_{\kappa}}{p_{\kappa 0}}$, получим окончательно соотношение расходов пара:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{MDn_0}{M_0D_0n}$$

Для паровозов компаунд соответственно получится:

$$u : u_0 = MDn_{\kappa 0} m_0 : M_0D_0n_{\kappa} m.$$

Для паровозов с перегревом, как указано выше, должна быть внесена поправка на температуру перегрева. Для этих паровозов получает соотношение расхода пара для паровозов с простой машиной:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{MDn_0(273 + t_0)}{M_0D_0n(273 + t)}$$

и для паровозов компаунд:

$$\frac{u}{u_0} = \frac{MDn_{\kappa 0} m_0(273 + t_0)}{M_0D_0n_{\kappa} m(273 + t)}$$

Итак, для построения кривой $u = \varphi_1(\varrho, \varepsilon, v)$ для какого-либо паровоза по опытным данным другого паровоза нужно изменить масштабы v и u или, оставив масштабы, изменить абсциссы и ординаты кривой в следующем отношении.

Т а б л и ц а 4

	Отношение масштабов кривых расхода пара (или величин абсцисс и ординат точек кривых расхода пара за один ход поршня)	
	Искомых u	Исходных u_0
Оси абсцисс v	Dl_0	D_0l
u { Для паровозов с простой машиной с перегревом	$MDn_0(273 + t_0)$	$M_0D_0n(273 + t)$
Для паровозов компаунд без перегрева	$MDn_{\kappa 0} m_0$	$M_0D_0n_{\kappa} m$
Для паровозов компаунд с перегревом	$MDn_{\kappa 0} m_0(273 + t_0)$	$M_0D_0n_{\kappa} m(273 + t)$

3. Ограничение силы тяги по машине

10. Ограничение силы тяги по машине определяется выражением $F_{\kappa} = M\eta_{\kappa}\xi$, где ξ зависит от степени открытия регулятора ϱ , отсечки ε и скорости движения v .

Зависимость $F_{\kappa} = f(\varrho, \varepsilon, v)$ определяется опытным путем и приводится в паспортных книжках. Для паровозов, не имеющих опытных данных, кривые F_{κ} могут быть построены, как указано выше (§ 9).

Для большинства паровозов ограничение по машине превосходит ограничение по котлу, а при малых скоростях — ограничение по сцеплению и лишь в небольших пределах скоростей приходится пользоваться ограничением по машине.

Ограничением по машине пользуются также при производстве тяговых расчетов по комбинациям открытия регулятора ϱ и отсечек ε .

4. Определение силы тяги по комбинациям открытия регулятора φ и отсечек ε

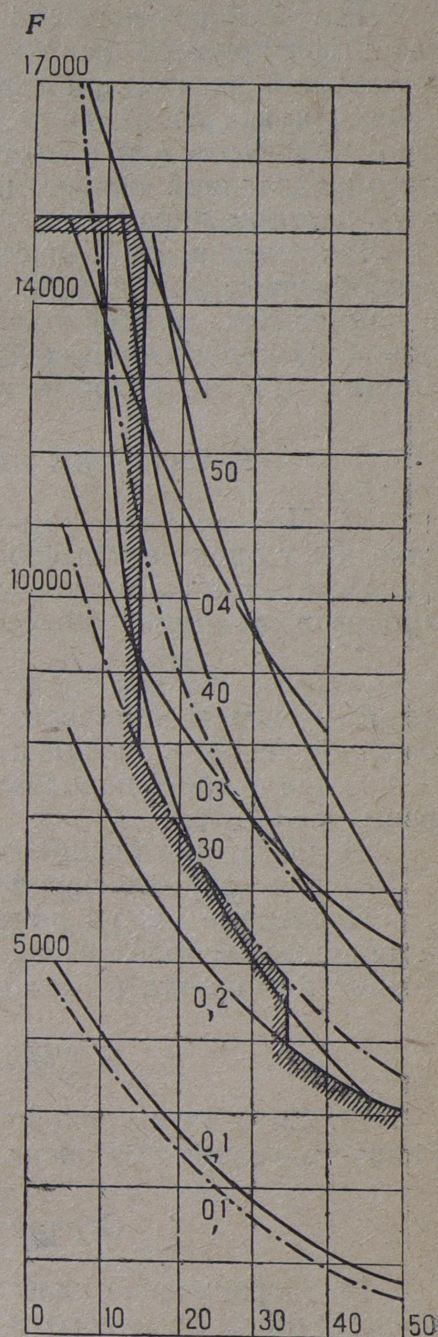
11. Выше были указаны способы определения значений силы тяги, удовлетворяющих условию ограничения силы тяги по котлу, и построение кривой зависимости силы тяги от скорости движения при соблюдении указанного условия.

Для того, чтобы фактически получить указанные значения силы тяги при различных скоростях, машинист принужден был все время непрерывно с изменением скорости движения изменять выпуск пара регулятором и парораспределительным механизмом. В действительности работа таким образом не производится и машинист изменяет выпуск пара периодически, через некоторые промежутки времени, в зависимости от достигнутой скорости и профиля пути, соблюдая условие, чтобы в определенный промежуток времени не израсходовать пара больше, чем может дать котел, руководствуясь указаниями водомерного стекла и манометра. В отдельные, непродолжительные, промежутки времени при такой работе расход пара иногда будет превышать средний возможный расход пара, а затем будет меньше среднего расхода.

Расходование пара сверх средней нормы называется *займом у котла*. Такие займы могут производиться в определенных пределах с таким расчетом, чтобы уровень воды в котле не был понижен сверх определенной нормы и затем, в период более легкой работы, был вновь пополнен, а также, чтобы давление пара не понижалось.

При такой работе линия, выражающая зависимость силы тяги от скорости движения, будет не плавная кривая, а ступенчатая, при чем иногда она будет выходить наружу [в сторону кривых $F_k = \varphi_k(z, v)$, соответствующих большим значениям z], а иногда во внутреннюю сторону (черт. 7). Полученная таким образом линия представляет собой кривую значений силы тяги, построенную по комбинациям открытия регулятора и отсечек.

Удачно комбинируя открытие регулятора и отсечки, в некоторых случаях можно получить более выгодную работу паровоза в отношении скорости движения и расхода пара, в особенности при перевалистом профиле или при частых остановках поезда, когда можно удачно пользоваться займами у котла, пополняя их на более легких элементах профиля или на остановках. В виду этого для расчетов, требующих большой точности (например, при составлении расписания дачных поездов имеющих большие скорости и частые остановки), следует строить кривую силу тяги по комбинациям.



ПРИ ВПОЛНЕ ОТКРЫТОМ РЕГУЛЯТОРЕ

ПРИ РЕГУЛЯТОРЕ ОТКРЫТОМ НА МАЛЫЙ КЛАПАН.

Черт. 7.

Для правильного построения этой кривой необходимо знать местные условия движения, так как только при этом условии можно действительно правильно подобрать комбинации ϱ и ε . Для более приближенных расчетов следует пользоваться кривой силы тяги, построенной для постоянного расхода пара z .

При выборе значений силы тяги по комбинациям нужно руководствоваться кривыми расхода пара, подбирая такие ϱ и ε , которые дадут наименьший расход при определенной силе тяги и скорости. В некоторых случаях, когда необходимо развить возможно большую скорость, необходимо подбирать ϱ и ε , дающие возможно большие значения силы тяги при определенной скорости, хотя бы они и не соответствовали наименьшему расходу пара.

Так как в зависимости от профиля пути будут получаться самые разнообразные комбинации, то общей для всех случаев кривой F_k строить не приходится, а необходимо нанести на диаграмму вместо одной общей кривой несколько кривых $F_k = f(\varrho, \varepsilon, v)$ (черт. 7), соответствующих комбинациям ϱ и ε , по которым ведется расчет.

5. Сила тяги при двух и нескольких паровозах

12. При ведении поезда двумя или несколькими паровозами вследствие некоторой несогласованности действий машинистов более осторожно при расчетах принимать несколько пониженную силу тяги дополнительных паровозов, принимая общую силу тяги паровозов равной:

$$F = F_1 + aF_2 + bF_3,$$

где: F_1 — сила тяги первого (головного), F_2 — второго и F_3 — третьего паровозов. Значение коэффициентов a и b следует принимать:

- 1) для второго паровоза, сцепленного непосредственно с головным паровозом, $a = 0,90$;
- 2) для второго паровоза, помещенного сзади или среди состава, $a = 0,80$;
- 3) для третьего паровоза $b = 0,80$.

Последние опыты подтвердили возможность при внимательной работе машинистов использования полной силы тяги обоих паровозов, т. е. возможность принимать $a = 1$, что и подтверждено распоряжением НКПС.

Б. СИЛА ТЯГИ ТЕПЛОВОЗОВ ¹⁾

13. Сила тяги тепловоза, как и всякого локомотива, ограничивается мощностью генератора энергии, машины и сцеплением колес с рельсами.

1. Ограничение силы тяги по сцеплению

14. Ограничение силы тяги тепловоза по сцеплению зависит от типа передаточного механизма и от соединения колес сцепными дышлами. При соединении колес сцепными дышлами тепловоз, в отношении сцепления колес с рельсами, находится в лучших условиях, чем тепловоз с неспаренными колесами.

В этом случае должно быть удовлетворено условие $\Sigma F \leq \psi_k P_k$, где: F — касательное усилие тяги, приходящееся на одну ось, P_k — сцепной вес тепловоза и ψ_k — коэффициент сцепления. Для этого случая при передаче работы от двигателя при помощи жесткого передаточного механизма (магнитная или другая передача) или при помощи электромоторов или гидравлического передаточного механизма получается равномерный вращающий

¹⁾ Ю. Ломоносов — Опыты 1925 г. над тепловозом ЮЭ — 001.

момент, вследствие чего тепловоз, в отношении сцепления колес с рельсами, работает в хороших условиях. Инж. Н. А. Добровольский на основании опытных данных Вихерта и Мюллера рекомендует принимать для тепловоза с непосредственной передачей коэффициент сцепления $\psi_k = 0,20 - 0,00125v^1$). При компрессорной передаче тепловоз работает в таких же условиях, как паровоз, вследствие чего коэффициент сцепления должен быть принят таким же, как для паровозов с соответствующей машиной.

Для тепловозов с электрической передачей при помощи моторов отдельно на каждую ось, без соединения колес сцепными дышлами, условие сцепления колес с рельсами должно быть проверено для каждой оси отдельно. В этом случае для каждой оси должно быть соблюдено условие $F_k \leq \varphi_0 \min(z' + z'')$, где F_k — касательное усилие на одну ось, φ_0 — коэффициент трения первого рода, z' и z'' — динамические нагрузки на оба колеса. Для тепловозов с люлечным подвешиванием моторов $\min z = \Pi - \mathcal{J}z_m - p_m \kappa z_k$, где Π — статическая нагрузка на колеса, p_m — часть веса электромотора, передающегося люлечным рессорам, κ — их жесткость, \mathcal{J} — жесткость подвесных рессор, z_k — игра люлечных рессор и z_m — игра подвесных рессор.

Для тепловоза Э — Эл — 2 (прежний Ю³ — 001) на основании опытных данных следует принимать $\min z = 0,6\Pi$. Ограничение силы тяги по сцеплению для тепловоза Э — Эл — 2 составляет: $F_k \leq \psi_k P_k$, где $\psi_k = 0,15 \cong \frac{1}{6,7}$.

2. Ограничение силы тяги по генератору энергии

15. Источником энергии в тепловозах служат двигатели внутреннего сгорания (дизель), мощностью которого и обуславливает ограничение силы тяги, которая составляет: $F = \frac{270N}{v}$.

Мощность двигателя зависит от количества подаваемого горючего за каждый рабочий цикл двигателя или величины ε^2) (условное наполнение) и числа оборотов двигателя z . Обе эти величины и комбинации их для данного двигателя могут иметь определенные значения, которые и ограничивают мощность двигателя. В зависимости от этих величин мощность четырехтактного двигателя составляет:

$$N_i = \frac{m}{75} \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2l \cdot \frac{p_i z}{4} = \frac{m}{600} \cdot \pi d^2 l p_i z,$$

где m — число цилиндров двигателя, d — диаметр цилиндров (в см), l — ход поршня (в м). Величина $\frac{m}{600} \pi d^2 l$ является для определенного двигателя постоянной. Обозначив $\frac{m}{600} \pi d^2 l = B$, получим: $N_i = B p_i z$.

Мощность двигателя на валу составляет $N_d = \eta_d N_i = B \eta_d p_i z$, где η_d — механический коэффициент полезного действия.

Кроме того мощность двигателя ограничивается возможностью осуществить необходимое охлаждение. Вода, поступающая в холодильник, не должна быть нагрета сверх определенной температуры $\tau_m = 180^\circ \text{C}$. Количество тепла, которое должно быть взято от двигателя для поддержания температуры τ_m , зависит от количества вырабатываемой двигателем энер-

¹⁾ Железнодорожное дело № 11 — 12 за 1928 г.

²⁾ В тепловозах, работающих на дорогах СССР, численное значение величины ε определяется расстоянием в сантиметрах указателя топливного маховичка от нулевого положения. Этой величине соответствует определенное количество горючего, поступающего в цилиндры двигателя.

гии и несколько изменяется в зависимости от режима двигателя, т. е. от z и ϵ .

Примечание.

В дальнейшем изложении примем следующие обозначения:	
полная поверхность холодильника, омываемая воздухом, нагнетаемым вентилятором	$H;$
коэффициент теплопередачи его	$k;$
поверхность наружного охлаждения	$H_e;$
коэффициент теплопередачи его	$k_e;$
полное количество тепла, отдаваемое водой в час	$Q;$
количество тепла, отдаваемое водой в час, приходящееся на одну лошадиную силу	$q;$
количество тепла, передаваемое воздуху, подаваемому вентилятором в час	$Q_x;$
количество тепла, передаваемого через железные части холодильника в час	$Q_e;$
часовой расход воды	$W;$
часовой расход воздуха	$L;$
теплоемкость воздуха	$c_p;$
температура воды при входе в холодильник	$\tau_m;$
температура воды при выходе из холодильника	$\tau_a;$
температура воздуха при входе в холодильник, т. е. температура наружного воздуха	$\vartheta_a;$
температура воздуха при выходе из холодильника	$\vartheta_m;$
разность температур воды и воздуха (тепловой напор)	$\Delta_c.$

Может быть принято $Q = qN_d = f(z, \epsilon)$. Это количество тепла должно быть отнято холодильником и передано через него наружному воздуху, температура которого ϑ_a . Следовательно, задача холодильника сводится к поддержанию определенной разницы температуры τ_m поступающей в холодильник воды и температуры ϑ_a наружного воздуха при отводе от двигателя количества тепла Q .

Между величинами $(\tau_m - \vartheta_a)$ и Q существует зависимость, определяющаяся размерами и свойством холодильника, указанная ниже.

При работе холодильника имеют место следующие соотношения:

$$Q_x = k \Delta_c H; \quad (I)$$

$$Q = (\tau_m - \tau_a) W; \quad (II)$$

при теплоемкости воды, равной единице:

$$Q_x = c_p (\vartheta_m - \vartheta_a) \cdot L; \quad (III)$$

$$Q_e = k_e H_e \left(\frac{\tau_m + \tau_a}{2} - \vartheta_a \right); \quad (IV)$$

$$Q = Q_x + Q_e. \quad (V)$$

С достаточной степенью точности можно считать, что разность температур воды и воздуха $(\tau - \vartheta)$ изменяется по закону прямой линии, вследствие чего можно принять:

$$\Delta_c = \frac{\tau_m + \tau_a}{2} - \frac{\vartheta_m + \vartheta_a}{2}. \quad (VI)$$

Подставляя это значение Δ_c в уравнение (I), получим:

$$Q_x = k \left(\frac{\tau_m + \tau_a}{2} - \frac{\vartheta_m + \vartheta_a}{2} \right) H,$$

откуда:

$$\tau_m - \vartheta_m + \tau_a - \vartheta_a = \frac{2Q_x}{kH}. \quad (VII)$$

Из уравнений (II) (III) и (IV) имеем:

$$\tau_m - \tau_a = \frac{Q}{W}; \quad (\text{VIII})$$

$$\vartheta_m - \vartheta_a = \frac{Q_x}{c_p L}; \quad (\text{IX})$$

$$\tau_m + \tau_a - 2\vartheta_a = \frac{2Q_e}{k_e H_e}. \quad (\text{X})$$

Вычитая из уравнения (X) уравнение (VII), получим:

$$\vartheta_m - \vartheta_a = \frac{2Q_e}{k_e H_e} = \frac{2Q_x}{kH}.$$

Сравнивая это уравнение с уравнением (IX), получим:

$$\vartheta_m - \vartheta_a = \frac{2Q_e}{k_e H_e} = \frac{2Q_x}{kH} = \frac{Q_x}{c_p L}. \quad (\text{XI})$$

Пользуясь уравнением (V), исключаем из уравнения (XI) Q_x , после чего получим:

$$\frac{2(Q - Q_x)}{k_e H_e} - \frac{2Q_x}{kH} - \frac{Q_x}{c_p L} = 0,$$

откуда:

$$Q_x = \frac{Q}{k_e H_e \left(\frac{1}{kH} + \frac{1}{k_e H_e} + \frac{1}{2c_p L} \right)}. \quad (\text{XII})$$

Складывая почленно уравнения (VII), (VIII) и (IX), получим:

$$\tau_m - \vartheta_a = \frac{Q}{2W} + \frac{Q_x}{kH} + \frac{Q_x}{2c_p L}. \quad (\text{XIII})$$

Подставляя в уравнение (XIII) вместо Q_x его значение из уравнения (XII), получим:

$$\begin{aligned} \tau_m - \vartheta_a &= Q \left[\frac{1}{2W} + \frac{1}{kH k_e H_e \left(\frac{1}{kH} + \frac{1}{k_e H_e} + \frac{1}{2c_p L} \right)} + \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{2c_p L \cdot k_e H_e \left(\frac{1}{kH} + \frac{1}{k_e H_e} + \frac{1}{2c_p L} \right)} \right] = \\ &= Q \left[\frac{1}{2W} + \frac{1}{kH + k_e H_e + \frac{kH k_e H_e}{2c_p L}} + \frac{1}{2c_p H + k_e H_e + \frac{2c_p L k_e H_e}{kH}} \right] = \frac{Q}{x}, \quad (\text{XIV}) \end{aligned}$$

где:

$$\frac{1}{x} = \left(\frac{1}{2W} + \frac{1}{kH + k_e H_e + \frac{kH k_e H_e}{2c_p L}} + \frac{1}{2c_p H + k_e H_e + \frac{2c_p L k_e H_e}{kH}} \right) \quad (\text{XV})$$

Величина $\frac{1}{x}$ называется полной характеристикой холодильника.

В последнем выражении часовой расход воды W и часовой расход воздуха L являются величинами переменными, зависящими от числа оборотов двигателя; остальные величины постоянные; следовательно, $x = \varphi(z)$, а значение $(\tau_m - \vartheta_a) = \frac{Q}{x} = \Phi(z, \varepsilon)$, откуда:

$$Q = x(\tau_m - \vartheta_a) a = \varphi(z) \cdot \Phi(z, \varepsilon). \quad (\text{XVI})$$

Если эта зависимость для данного тепловоза известна, то может быть определено ограничение мощности и силы тяги тепловоза по холодильнику, а именно:

$$F = \frac{270N}{v} = \frac{270}{v} \frac{Q}{q} = \frac{270\varphi(z) \cdot \Phi(z, \varepsilon)}{qv} = \frac{270\varphi(z) (\tau_m - \vartheta_a)}{qv}. \quad (\text{XVII})$$

Зависимость $x = \varphi(z)$ определяется конструкцией двигателя, а $(\tau_m - \vartheta_a) = \Phi(z, \varepsilon)$ определяется опытным путем.

Из уравнения (XVII) видно, что мощность двигателя тепловоза, а следовательно, и сила тяги зависит от ϑ_a , т. е. от температуры наружного воздуха. Поэтому кривые ограничения силы тяги по холодильнику строятся для различных ϑ_a .

Если бы отсутствовало наружное охлаждение через железные части холодильника, т. е. если бы имело место $k_a = 0$ и $Q_e = 0$, то уравнение (XVI) получило бы вид:

$$\tau_m - \vartheta_a = Q \left(\frac{1}{2W} + \frac{1}{kH} + \frac{1}{2c_p L} \right) = \frac{Q}{J}, \quad (\text{XVIII})$$

где:

$$J = \frac{1}{\left(\frac{1}{2W} + \frac{1}{kH} + \frac{1}{2c_p L} \right)}. \quad (\text{XIX})$$

Величина J называется *внутренним коэффициентом холодильника*.

3. Ограничение силы тяги по машине

16. Ограничение по машине или передаточному механизму зависит от типа этого механизма. При жесткой передаче движения от двигателя ходовым частям характер ограничения силы тяги остается таким же, как ограничение силы тяги по двигателю; при этом часть работы расходуется на преодоление внутренних сопротивлений, т. е. величина силы тяги уменьшается на величину внутреннего трения передаточного механизма. Кроме того при жесткой передаче во время переключения скоростей передаточный механизм должен быть выключен, вследствие чего сила тяги на некоторое, весьма короткое, время становится равной нулю.

При компрессорной передаче работа газа в цилиндрах машины передаточного механизма происходит так же, как работа пара в цилиндрах паровоза, следовательно, ограничение силы тяги по машине определяется таким же образом, как для паровозов.

При электрической передаче ограничение силы тяги определяется мощностью динамомашин и работой электромоторов.

Задача динамомашин — принять от двигателя нагрузку, переработать ее в электрическую энергию и передать моторам при всякой скорости движения v и при соответствующем числе оборотов движущих колес n . Число оборотов динамомашин z_0 зависит от числа оборотов двигателя z . При определенном числе оборотов динамомашин и колес тепловоза получается соотношение числа оборотов $v = \frac{z_0}{n}$, при котором динамомашин должна передать колесам нагрузку, полученную от двигателя и равную:

$$N_0 = f_0(z, \varepsilon) = 0,00136 E J.$$

Нагрузка, получаемая колесами, составляет:

$$N_k = 0,00136 \sum \eta_m E_m J_m,$$

где: E_m — электродвижущая сила мотора, J_m — сила тока в нем и η_m — коэффициент полезного действия.

Для осуществления возможности передачи соответствующей мощности в тепловозах меняется вольтаж $E = A_0 x_0 \eta_0 z_0$, где A_0 — постоянная величина для данной динамомашины, x_0 — число силовых линий, проходящих через якорь, η_0 — отдача динамомашины. Максимум напряжения, которое может быть достигнуто, зависит от числа оборотов z_0 , что и определяет ограничение мощности, а следовательно, и силы тяги. Так как вольтаж изменяется путем изменения сопротивления в обмотке возбуждения, то это ограничение является ограничением по возбуждению.

Для тепловоза Э — Эл — 2 ограничение по возбуждению определено опытным путем.

Вторым ограничением электрической передачи является работа, которую могут дать моторы. Работа электромоторов не должна давать чрезмерного нагрева их, который и определяет ограничение силы тяги по нагреву моторов.

Примем следующие обозначения:

поверхность якоря, охлаждающаяся воздухом	ω ;
часовой расход воздуха	L ;
теплоемкость воздуха	c_p ;
температура якоря	Q ;
температура наружного воздуха	ϑ_a ;
температура воздуха при выходе из вентилятора	ϑ_n ;
коэффициент теплопередачи	k .

Количество тепла, освобождаемого якорем в час, составляет $\alpha \cdot J$, где α — постоянная величина для данного мотора. При наступлении теплового равновесия получится зависимость: $\alpha \cdot J = k\omega \left(Q - \frac{\vartheta_n + \vartheta_a}{2} \right)$, откуда:

$$\vartheta_n + \vartheta_a = 2Q - \frac{2\alpha J}{k\omega}. \quad (I)$$

При передаче всего тепла воздуху получается равенство:

$$\alpha J = c_p L (\vartheta_n - \vartheta_a),$$

откуда:

$$\vartheta_n - \vartheta_a = \frac{\alpha J}{c_p L}. \quad (II)$$

Из этих двух равенств получаем:

$$Q - \vartheta_a = \alpha J \left(\frac{1}{k\omega} + \frac{1}{2c_p L} \right) = \frac{1}{K}. \quad (III)$$

где

$$K = \frac{1}{\alpha \left(\frac{1}{k\omega} + \frac{1}{2c_p L} \right)}.$$

Сила тока $J = \psi(\varepsilon, z, v)$, часовой расход воздуха $L = \beta v$, следовательно:

$$Q - \vartheta_a = \frac{J}{K} = \psi(\varepsilon, z, v). \quad (IV)$$

Полученное соотношение (IV) определяет собой ограничение силы тяги по нагреванию моторов. Это соотношение для тепловоза Э — Эл — 2 определено опытным путем.

Так же, как для электровозов, может быть допущена усиленная нагрузка на моторы на непродолжительное время (§§ 19, 20).

В. СИЛА ТЯГИ ЭЛЕКТРОВОЗОВ ¹⁾

17. При электрической тяге источник энергии находится вне электроваза. Электрическая энергия вырабатывается на центральных станциях, мощность которых во много раз превышает возможность использования

¹⁾ Основным материалом для этого параграфа послужил проект технических условий производства тяговых расчетов при электрической тяге, составленный секцией электрификации Научно-исследовательского института МИИТ.

ее электровозом. Вследствие этого ограничение мощности и силы тяги по источнику энергии для электровозов отпадает; остается ограничение по сцеплению и по машине, т. е. моторам.

1. Ограничение силы тяги по сцеплению

18. В электровозах создается равномерный момент вращения движущих колес, вследствие чего в отношении сцепления колес с рельсами электровозы находятся в более благоприятных условиях, чем паровозы.

Для электровозов ограничение силы тяги по сцеплению определяется коэффициентом трения φ между бандажами колес и рельсами и весом, передающимся на движущие оси $F_k = \varphi P_k$.

Для электровозов, оси которых соединены сцепными дышлами, можно принимать $\varphi = 0,25 = \frac{1}{4}$. При неблагоприятных условиях зимой коэффициент трения понижается до $\varphi = 0,20 = \frac{1}{5}$.

На основании опытных данных Вихерта и Мюллера коэффициент сцепления для электровозов следует принимать равным $\psi_k = 0,20 - 0,0012v^1$.

Для электровозов, оси которых не соединены сцепными дышлами, нужно учитывать динамические условия движения, вследствие которых получается временная разгрузка отдельных осей. Ограничение силы тяги по сцеплению в этом случае следует определять, как было указано при выяснении ограничения силы тяги по сцеплению для тепловозов (§ 14).

2. Ограничение силы тяги по моторам

19. Сила тяги на ободах движущих колес определяется вращающим моментом, развиваемым моторами. Зависимость величины вращающего момента и числа оборотов моторов от мощности должны быть определены опытным путем и помещены в виде кривых в паспортных книжках электровозов.

Так как часть работы моторов расходуется на преодоление сопротивления моторов и передачи, то колесам передается меньшая мощность. Отношение мощности электровоза на ободах движущих колес к мощности моторов называется механическим коэффициентом полезного действия. Он равняется:

$$\eta_m = \frac{f}{f_k + w_m}.$$

Если обозначим вращающий момент моторов через M_k (кгм), число моторов — через m , диаметр движущих колес — через D (мм), то получим:

$$F_k D = 2000 m M_k \eta_m,$$

откуда определяется:

$$F_k = \frac{2000 \cdot m \cdot M_k}{D} \eta_m.$$

Коэффициент η_m должен определяться опытным путем, если же опытных данных нет, то могут быть приняты значения η_m , приведенные в таблице 5.

Таблица 5

Нагрузка моторов по отношению к часовой мощности:		25%	50%	75%	100%
Значения η_m	При непосредственной зубчатой передаче	0,92	0,94	0,96	0,97
	При зубчатой передаче с промежуточным валом	0,90	0,92	0,94	0,93
	При шатунной передаче	0,90	0,92	0,94	0,95

¹⁾ „Железнодорожное дело“ № 11 — 12 за 1928 г., стр. 8, статья Н. А. Добровольского

Эффективный (действительный) вращающий момент всех моторов электровоза на валу их равняется: $M = 0,973 \frac{N_e}{\eta_m}$, где N_e — эффективная мощность всех моторов электровоза, выраженная в киловаттах и $M = 0,716 \frac{N_e}{\eta_m}$, если N_e выражена в лошадиных силах.

Эффективная мощность всех моторов электровоза:

$$N_e = E_{np} J_e a_1 b_1 \eta_e,$$

где E_{np} (V) — средняя величина напряжения электрического тока в рабочем проводе (в вольтах), J_e [A] — сила тока электровоза (в амперах), η_e — коэффициент отношения эффективной мощности к мощности тока, потребляемого электровозом.

Коэффициенты a_1 и b_1 указаны в таблице 6.

Т а б л и ц а 6

Р о д т о к а	a_1	b_1
Постоянный	1	1
Однофазный	1	коэффициент мощности
Трёхфазный	$\sqrt{3}$	коэффициент мощности

Число оборотов моторов в минуту n_m при коэффициенте передачи от вала мотора до движущей оси электровоза k и скорости движения v км/ч. составляет:

$$n_m = \frac{10^5 k v}{6\pi D}, \text{ при чем } k = \frac{n_m}{n_0}, \text{ а при непосредственной передаче от вала мотора}$$

до движущей оси $k = \frac{n_m}{n_0} = \frac{d_2}{d_1}$, где n_0 — число оборотов движущихся осей в минуту, d_1 — диаметр шестерни, насаженной на валу мотора, и d_2 — диаметр зубчатого колеса на валу движущих колес оси или на промежуточной оси.

Если для данного электровоза опытным путем определена электродинамическая характеристика, то сила тяги определяется непосредственно из паспортной книжки электровоза по диаграмме зависимости силы тяги на ободе движущих колес и скорости движения от мощности электровоза или от силы тока, потребляемой электровозом для различных комбинаций моторов.

20. Мощность, которая может быть передана моторам, ограничивается условиями недопущения нагрева моторов сверх определенной нормы. Нагрев мотора зависит от силы потребляемого тока и от времени его действия. Благодаря этому сила тока, а следовательно, мощность электровоза и сила тяги его обуславливаются нормой допускаемого нагрева. Так как нагрев зависит от времени действия тока, то при различной продолжительности работы могут быть использованы различные мощность и сила тяги.

В зависимости от этого различается:

1) длительная мощность N_{ed} и длительная сила тяги F_{kd} — в течение произвольно продолжительного времени: $F_{kd} = \frac{367 N_{ed}}{v_d} \cdot \eta_m$;

2) часовая мощность N_{ch} и часовая сила тяги $F_{ch} = \frac{367 N_{ch}}{v_{ch}} \cdot \eta_m$ и

3) кратковременная мощность N_{em} и кратковременная сила тяги F_{km} , которая может быть использована при трогании с места. Последнее значение

силы тяги не должно превышать ограничения силы тяги по сцеплению, т. е. должно быть соблюдено условие $F_k = \varphi P_k$.

Ограничение по нагреву должно быть определено опытным путем и помещено в виде температурной кривой в паспортной книжке паровоза. Значения длительной, часовой, и кратковременной сил тяги указываются на электродинамической характеристике электровоза.

Для электровозов с отдельными моторами на осях ограничение по нагреву моторов может быть определено, как было указано при описании ограничения силы тяги тепловоза с электрической передачей (§ 16).

Если температурной кривой нет, то определение силы тяги F_k на расчетном подъеме должно производиться с таким расчетом, чтобы средняя квадратичная величина силы тяги тока моторов за все время прохода труднейшего перегона, включающего всю длину расчетного подъема, т. е.

величина $\sqrt{\frac{1}{t} S_0 J^2 dt}$, была не более допускаемой длительной силы тока моторов, если время прохождения этого перегона более одного часа.

При отсутствии температурных кривых соотношение между длительной, часовой и кратковременной значениями силы тяги могут быть приняты: $F_{kd} : F_{kh} : F_{km} = 1 : 1,25 : 1,75$.

Для тех электровозов, для которых не имеется опытных данных, кривые силы тяги и соответствующие им скорости могут быть построены по опытным данным других электровозов, оборудованных моторами точно такого же типа, имеющими вполне одинаковые электродинамические характеристики. При этом значения силы тяги и скорости движения должны быть определены по формулам:

$F_k = F_0 \frac{k_0 D m}{k D_0 m_0}$ и $v = v_0 \frac{k D_0}{k_0 D}$, где значок 0 относится к величинам данного (исходного) электровоза, имеющего паспортную книжку.

4. Сопротивление поезда

21. При всяком движении поезда, а также и при трогании его с места получается сопротивление движению вследствие трения движущихся частей подвижного состава, сопротивления воздуха и неровности пути. Этот вид сопротивления имеет место при движении поезда независимо от плана и профиля пути и называется *основным сопротивлением* поезда (обозначается буквой W_0). Основное сопротивление всегда направлено в сторону, противоположную движению.

Кроме основного сопротивления поезд испытывает дополнительное сопротивление при движении по кривым участкам пути и по подъемам, которое также направлено в сторону, противоположную движению поезда. При движении поезда по спуску, наоборот, на поезд действует сила, направленная в сторону движения поезда. Эту силу для удобства расчетов принимают также как дополнительное сопротивление, но с обратным знаком. Таким образом, полное сопротивление поезда:

$$W_* = W_0 + W_r \pm i \cdot (P + Q),$$

где W_r — дополнительное сопротивление на кривых участках пути и $i(P + Q)$ — дополнительное сопротивление на уклонах: i — величина уклона в тысячных долях, P — вес локомотива, Q — вес вагонов.

При движении по горизонтальному прямому участку $W_r = 0$ и $i(P + Q) = 0$, следовательно: $W_* = W_0$, т. е. основное сопротивление представляет собою полное сопротивление поезда на горизонтальном прямом пути.

Удельное сопротивление поезда: $w = \frac{W}{P + Q}$, откуда $W = w(P + Q)$.

Для всякого рода расчетов необходимо знать зависимость сопротивления поезда от скорости движения. Эта зависимость может быть дана в виде формул или представлена графически (черт. 21 на стр. 70) так же, как зависимость силы тяги от скорости. Формулы или диаграммы, выражающие зависимость сопротивления от скорости, даются обычно для значений удельного сопротивления.

1. Основное сопротивление

22. Основное сопротивление поезда складывается из следующих величин:

- 1) сопротивление воздушной среды;
- 2) трение первого рода в шейках осей;
- 3) трение второго рода на ободе колес;
- 4) трение первого рода на ободе колес;
- 5) потеря живой силы от ударов на стыках и неровностях пути;
- 6) сопротивление машины локомотива.

При производстве тяговых расчетов нет надобности брать отдельно каждый элемент сопротивления: необходимо знать совокупную величину этих элементов. При опытном определении величины сопротивления обыкновенно определяют полное основное сопротивление, которое выражается некоторыми формулами, дающими зависимость удельного сопротивления от скорости движения. Для выяснения вида этих формул нужно знать влияние отдельных условий движения и работы поезда на общую величину сопротивления, что выявляется из рассмотрения каждого элемента сопротивления отдельно.

1. Сопротивление воздуха

Сопротивление воздуха является результатом лобового давления воздуха, трения его о поверхность поезда, омываемую воздухом, засасывания воздуха сзади поезда и давления на лобовые поверхности вагонов воздуха, заходящего между вагонами, где создаются вихревые движения. Эти виды сопротивления зависят от скорости движения, изменяясь пропорционально квадрату скорости, а также от поперечного сечения (габарита) локомотива и вагонов и от их очертания. Сопротивление воздуха, попадающего между вагонами, зависит от величины промежутков между вагонами и от числа вагонов. Трение воздуха о поверхность поезда зависит от степени ее ровности и величины, т. е. зависит также от количества вагонов и от типа их. В виду сказанного сопротивление воздуха может быть выражено формулами:

$$\text{для локомотива: } W'_1 = A_1''' v^2$$

$$\text{и для вагонов: } W''_1 = mA_1'''' v^2,$$

где A_1''' и A_1'''' — коэффициенты, зависящие от типа подвижного состава, m — число вагонов в поезде.

На сопротивление воздуха значительное влияние оказывает ветер. Это влияние не учитывается формулами сопротивления, коэффициенты которых определяются опытным путем для средних условий работы. При исключительно сильном ветре влияние его может оказаться настолько значительным, что для уменьшения сопротивления приходится уменьшать состав поезда. Боковой ветер не только усиливает непосредственное сопротивление воздуха, но, прижимая вагоны к одному рельсу, увеличивает также трение между колесами и рельсами.

По опытным данным проф. Ю. В. Ломоносова, исключительно сильный ветер может повысить удельное сопротивление поезда при климатических условиях, соответствующих железным дорогам СССР, на 2—3 кг/т, а для дорог, проходящих по пустыням (некоторые участки Среднеазиатской дороги) — до 5 кг/т.

2. Сопротивление от трения в шейках осей

Трение подшипников о шейки осей равняется $\varphi\Pi$, где φ — коэффициент трения, Π — нагрузка на шейку.

Работа силы трения при перемещении поезда на протяжении ds , которому соответствует перемещение какой-либо точки обода колеса на ту же величину ds и какой-либо точки поверхности шейки на величину dx , составляет $\varphi\Pi dx$. Очевидно, что эта работа должна соответствовать работе силы сопротивления W_2 при перемещении поезда на величину ds , т. е. должно иметь место равенство:

$$\varphi\Pi dx = W_2 ds,$$

откуда:

$$W_2 = \varphi\Pi \frac{dx}{ds}.$$

Но $\frac{dx}{ds} = \frac{d}{D}$, где d — диаметр шейки оси, D — диаметр колес; следовательно: $W_2 = \varphi\Pi \frac{d}{D}$. Полное сопротивление от трения в осевых шейках будет:

$$\text{для локомотива: } W'_2 = \varphi \Sigma \Pi' \frac{d'}{D'},$$

$$\text{и для вагонов: } W''_2 = \varphi \Sigma \Pi'' \frac{d''}{D''}.$$

Коэффициент трения φ при обильном смазывании шейки маслом изменяется пропорционально скорости на окружности шейки или пропорционально величине $v \frac{d}{D}$, т. е. коэффициент трения может быть представлен в виде: $\varphi = \beta \frac{d}{D} v$.

Вес локомотива, передающийся на все шейки его осей, составляет: $P - p'$, где p' — вес осей локомотива; вес вагонов, передающийся на шейки осей, составляет: $Q - mx''p''$, где m — число вагонов, x'' — число осей под одним вагоном, p'' — вес одной оси.

Окончательно сопротивление поезда от трения осевых шеек может быть выражено формулами:

для локомотива:

$$W'_2 = \beta v \Sigma \frac{d'^2}{D'^2} (P - p') = B'_2 P v - B'_2''' v,$$

где:

$$B'_2 = \beta \Sigma \frac{d'^2}{D'^2} \text{ и } B'_2''' = \beta \Sigma \frac{d'^2}{D'^2} p'$$

и для вагонов:

$$W''_2 = \beta v \frac{d''^2}{D''^2} (Q - mx''p'') = B''_2 Q v - B''_2''' m v,$$

где:

$$B''_2 = \beta \frac{d''^2}{D''^2} \text{ и } B''_2''' = \beta \frac{d''^2}{D''^2} x'' p''.$$

Коэффициент φ в значительной степени зависит от подшипника и смазки. При скорости движения около 10 км/ч. сопротивление от трения в осевых шейках при обыкновенных подшипниках составляет около 1 кг/т.

При замене обыкновенных подшипников шариковыми трение первого рода в осевых шейках заменяется трением второго рода, вследствие чего сопротивление от трения осевых шеек понижается (приблизительно на 0,8 кг/т).

3) Сопротивление от трения второго рода на ободу колес

Сопротивление от трения второго рода при качении колеса составляет для каждого колеса $a \frac{\Pi}{D}$, где a — коэффициент трения второго рода, не зависящий от скорости движения.

Полное сопротивление выражается формулами:
для локомотива:

$$W''_3 = a \Sigma \frac{\Pi'}{D'} = C'_3 P;$$

для вагонов:

$$W''_3 = a \Sigma \frac{\Pi''}{D''} = C''_3 P.$$

4) Сопротивление от трения первого рода на ободу колес

Сопротивление от трения первого рода на ободу колес является результатом влияния подвижного состава во время движения, которое в свою очередь является результатом боковых толчков. Это сопротивление равняется $e\varphi\Pi$, где φ — коэффициент трения первого рода бандажей о рельсы, e — коэффициент, зависящий от влияния подвижного состава.

Ю. В. Ломоносов рекомендует принимать $e\varphi = a + \frac{b}{q}$, где $q = \frac{Q}{m}$ — вес одного вагона; $a = A'_4 v + B'_4 v + C$ и $b = A'''_4 v^2 + B'''_4 v + C'''$.

Окончательно полное сопротивление от трения первого рода колес о рельсы выразится формулами:
для локомотива:

$$W'_4 = (A'_4 v^2 + B'_4 v + C') P;$$

для вагонов:

$$W''_4 = (A''_4 v^2 + B''_4 v + C''_4) Q + (A_4''' v^2 + B_4''' v + C_4''') m.$$

5. Сопротивление от ударов на стыках и неровностях пути

Сопротивление от ударов на стыках и неровностях пути является как результат потери некоторой доли живой силы βT , где T — живая сила поезда, пропорциональная весу его и квадрату скорости, и β — коэффициент, зависящий и от устройства пути, и количества стыков, и толчков на протяжении пути l . Эта потеря живой силы соответствует работе сопротивления на протяжении l , т. е. $W_5 l = \beta T$, откуда $W_5 = \frac{\beta T}{l}$.

Принимая во внимание зависимость T от массы поезда и квадрата скорости, сопротивление W_5 можно выразить формулами:
для локомотива:

$$W'_5 = A'_5 V^2 P + A_5''' v^2,$$

где член $A_5''' v^2$ соответствует дополнительной потере живой силы колесных пар локомотива от их вращения;

для вагонов:

$$W''_5 = A''_5 v^2 Q + A_5''' v^2 m$$

где член $A_5''' v^2 m$ соответствует потере живой силы колесных пар вагонов,

6) Сопротивление машины локомотива

В локомотивах помимо указанных видов сопротивления имеет место дополнительное сопротивление машины, которое поглощает часть полезной работы, уменьшая соответственно силу тяги. Это сопротивление во время

работы локомотива вызывается трением отдельных частей и зависит от типа локомотива и его машины и скорости движения.

В паровозах при закрытом регуляторе сопротивление машины увеличивается вследствие сжатия воздуха с одной стороны поршня и получения вакуума с другой стороны. Следовательно, для паровозов приходится различать два рода сопротивления машины: при открытом регуляторе и при закрытом регуляторе.

Сопротивление машины локомотива определяется опытным путем и выражается формулами или диаграммами (в паспортных книжках). Для паровозов, имеющих паспортные книжки, обыкновенно в виде диаграмм представлены данные сопротивления машины паровоза при закрытом регуляторе. Данные сопротивления машины при открытом регуляторе обыкновенно не представлены, но зато имеются диаграммы значений индикаторной силы тяги и силы тяги на ободу (касательной); разница между этими значениями соответствует сопротивлению машины паровоза при открытом регуляторе. Поэтому, если при производстве расчетов пользуются значениями силы тяги на ободу, то учитывать отдельно сопротивление машины не требуется. При движении паровоза с закрытым регулятором должно быть отдельно учтено сопротивление машины.

Общее выражение основного сопротивления поезда

Итак, общее основное сопротивление локомотивов и вагонов может быть выражено формулами вида:
для локомотива:

$$W'_0 = [(A'_4 + A'_5) v^2 + (B'_2 + B'_4) v + (C'_3 + C'_4)] P + \\ + [(A_1''' + A_5''') v^2 + B_2''' v] = (A'v^2 + B'v + C') P + (A'''v^2 + B'''v)$$

и для вагонов:

$$W''_0 = [(A''_4 + A''_5) v^2 + (B''_2 + B''_4) v + (C''_3 + C''_4)] Q + \\ + [(A_1'''' + A_4'''' + A_5''') v^2 + (B_2'''' + B_4''') v + (C_3'''' + C_4''')] m = \\ = (A''v^2 + B''v + C'') Q + (A''''v^2 + B''''v + C''') m.$$

Отдельные коэффициенты: A', A'', A''', A'''' , B', B'', B''', B'''' , C', C'', C''', C'''' должны быть определены опытным путем. Если при этом окажется, что некоторые коэффициенты настолько малы, что весь соответствующий член оказывает ничтожное влияние на общую величину сопротивления, то этот член может быть отброшен, чем упрощается формула. Выше было указано, что некоторые коэффициенты зависят от типа подвижного состава, вследствие чего одна и та же формула не может служить для расчетов при всяких типах подвижного состава. Для каждого значительно отличающегося типа приходится производить опытные испытания, определять соответствующие коэффициенты и давать отдельные формулы сопротивления.

Для получения значений удельного сопротивления указанные выше выражения нужно разделить на вес локомотива или вагонов.

Удельные сопротивления выражаются формулами:
для локомотивов:

$$w'_0 = A'v^2 + B'v + C' + \frac{A'''v^2 + B'''v}{P}$$

и для вагонов:

$$w''_0 = A''v^2 + B''v + C'' + \frac{(A''''v^2 + B''''v + C''')m}{Q}$$

Величина $\frac{m}{Q} = \frac{1}{q}$, где q — вес одного вагона. Член $(A''''v^2 + B''''v + C''') \frac{1}{q}$ указывает, что удельное сопротивление вагонов зависит от веса отдельных вагонов, а следовательно, и от нагрузки (нетто) вагонов и поезда; удельное сопротивление груженных вагонов меньше удельного сопротивления порожних вагонов.

Для получения общего удельного основного сопротивления всего поезда нужно сложить полное основное сопротивление локомотива с полным основным сопротивлением вагонов и полученную сумму разделить на вес поезда:

при работе с открытым регулятором:

$$w_0 = \frac{w'_0 P + w''_0 Q}{(P + Q)}, \quad (5)$$

при закрытом регуляторе:

$$w_0 = \frac{(w'_0 + w'_s) P + w''_0 Q}{(P + Q)}. \quad (6)$$

Сопротивление подвижного состава может быть определено по формулам, приведенным в таблице 7 (стр. 40).

Для локомотивов, имеющих паспортные книжки, сопротивление нужно определить по диаграммам этих книжек.

При трогании с места основное сопротивление поезда выше, чем при движении; в момент трогания оно доходит до 15 кг/т . Поэтому при взятии с места тяжелого товарного поезда приходится его несколько сжать, чтобы брать вагон за вагоном. Это сопротивление падает до достижения некоторой скорости (примерно 7 км/ч), а затем вновь начинает повышаться. После продолжительных стоянок смазка в буксах остывает и несколько сгущается, вследствие чего в начале движения сопротивление поезда несколько выше. Ю. В. Ломоносов рекомендует увеличивать сопротивление для первых трех километров от начальной станции на 2 кг/т и для следующих пяти километров на 1 кг/т .

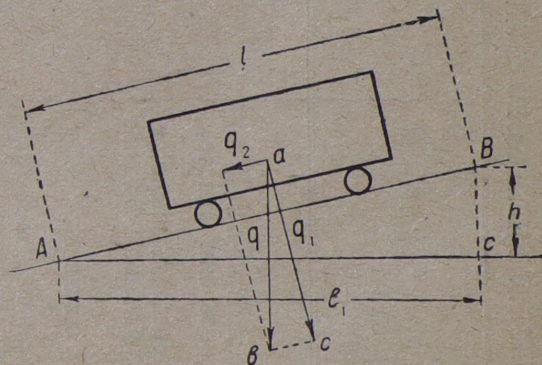
Ю. В. Ломоносов рекомендует также увеличивать сопротивление в зимнее время для районов к северо-востоку от линии Рига — Астрахань на 1 кг/т и для более теплых районов — на $0,5 \text{ кг/т}$.

2. Сопротивление поезда при движении по уклону

23. При движении поезда по уклону получается под влиянием силы тяжести поезда дополнительная сила, направленная в сторону движения поезда (на спусках) или в сторону противоположную (на подъемах).

При движении поезда по уклону вес вагона (или локомотива) q разлагается на две составляющие силы: q_1 , действующую перпендикулярно к поверхности пути, и q_2 , направленную параллельно уклону и представляющую собою дополнительное сопротивление поезда движению (черт. 8).

Из подобия треугольников ABC и abc имеем: $q_2 : q = h : l$, откуда: $q_2 = q \cdot \frac{h}{l}$. Так как угол BAC мал, то



Черт. 8.

отношение $\frac{h}{l}$ можно заменить отношением $\frac{i}{100}$ (при уклоне $i = 35$ ошибка получается менее $0,5\%$). Отношение же $\frac{h}{l_1}$ представляет собою значение

Т а б л и ц а 7

ЗНАЧЕНИЯ УДЕЛЬНОГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ЛОКОМОТИВОВ И ВАГОНОВ НА ГОРИЗОНТАЛЬНОМ ПРЯМОМ ПУТИ

Род подвижного состава	Формулы удельного сопротивления $к_2/m$	Значения удельного сопротивления для различных скоростей v км/час									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
<p>Поезд товарный (локомотив и вагоны вместе)</p> <p>При обыкновенных расчетах, не требующих большой точности</p> <p style="text-align: center;">Паровозы</p> <p>1. Полное сопротивление пассажирских паровозов</p> <p>2. Полное сопротивление товарных паровозов</p> <p>3. Сопротивление машины товарных паровозов при закрытом регуляторе:</p> <p>а) без раздвижных золотников</p> <p>б) с раздвижными золотниками</p> <p>4. Сопротивление машины:</p> <p>а) пассаж. паровоза при закрытом регуляторе</p> <p>б) с раздвижными золотниками</p> <p>5. Сопротивление пассажирского паровоза как повозки</p> <p>6. Сопротивление товарного паровоза как повозки</p>	<p>$w_0 = 1,5 + 0,05v$ (Баллвина).</p> <p>$w'_0 + w'_m = (3,9 + 0,014v + 0,0017v^2)$ (Лопушинского).</p> <p>$w'_0 + w'_m = (4,3 + 0,15v + 0,001v^2)$ (Петрова).</p> <p>$w'_3 = 1,5 + 0,3v$ $= 1,5 + 0,1v$</p> <p>$w'_3 = 1,5 + 0,03v + 0,001v^2$ $= 1,5 + 0,01v + 0,0003v^2$</p> <p>$w'_0 = (1,3 + 0,02v + 0,0005v^2)$ (Лебедева).</p> <p>$w'_0 = (1,5 + 0,05v)$ (Баллвина).</p>	2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	—	—	—	—
		4,21	4,86	5,85	7,18	8,85	10,86	13,31	15,90	18,93	22,30
		5,90	7,70	9,70	11,90	14,30	16,90	—	—	—	—
		4,50	7,50	10,50	13,50	16,50	19,50	—	—	—	—
		2,50	3,50	4,50	5,50	6,50	7,50	—	—	—	—
		1,90	2,50	3,30	4,30	5,50	6,90	8,50	10,30	12,20	14,50
		1,63	1,82	2,07	2,38	2,75	3,18	3,67	4,22	4,83	5,50
		1,55	1,90	2,35	2,90	3,55	4,30	5,15	6,10	7,15	8,30
		2,00	2,50	3,00	3,50	4,00	4,50	—	—	—	—

7. Полное сопротивление паровозов, идущих с закрытым регулятором:

а) без раздвижных золотников:
 товарный паровоз . . .
 пассажирский паровоз . . .

б) с раздвижными золотниками:
 товарный паровоз . . .
 пассажирский паровоз . . .

8. Полное сопротивление паровозов (без тендеров) узкоколейных дорог.

а) Товарный паровоз:
 для колеи шириной 1 000 м
 " " " 750 " " " 600 "

б) Пассажирский паровоз:
 для колеи шириной 1 000 м
 " " " 750 " " " 600 "

Тепловозы

Сопротивление тепловоза с электрической передачей:

1) сопротивление тепловоза как повозки

2) сопротивление тепловоза как машины, идущей без тока.

3) полное сопротивление тепловоза

$$w'_0 + w'_3 = 3,0 + 0,35v = 2,8 + 0,05v + 0,0015v^2$$

$$= 3,0 + 0,15v = 2,8 + 0,03v + 0,0008v^2$$

$$= 4,7 + 0,0015v^2 = 4,85 + 0,0010v^2 = 5,00 + 0,0008v^2$$

$$= 3,8 + 0,0015v^2 = 4,0 + 0,0010v^2 = 4,1 + 0,0008v^2$$

$$w'_0 = 2,85 + 0,0009v^2$$

$$w'_3 = 0,25 + 0,0005v^2$$

$$w'_0 + w'_3 = 3,1 + 0,0014v^2$$

6,50	10,00	13,50	17,00	20,50	24,00	—	—	—	—
3,45	4,40	5,65	7,20	9,05	11,20	13,65	16,40	19,45	22,80
4,50	6,00	7,50	9,00	10,50	12,00	—	—	—	—
3,18	3,72	4,42	5,28	6,30	7,48	8,82	10,32	11,99	13,80
4,85	5,30	6,05	7,10	8,45	—	—	—	—	—
4,95	5,25	5,75	6,45	7,35	—	—	—	—	—
5,08	5,32	5,72	6,28	7,00	—	—	—	—	—
3,95	4,40	5,15	6,20	7,55	—	—	—	—	—
4,10	4,40	4,90	5,65	6,55	—	—	—	—	—
4,18	4,42	4,82	5,38	6,10	—	—	—	—	—
2,94	3,21	3,66	4,29	5,10	6,09	—	—	—	—
0,30	0,45	0,70	1,05	1,50	2,05	—	—	—	—
3,24	3,66	4,36	5,34	6,60	8,14	—	—	—	—

Моторвагонный поезд
Соппротивление мотор-вагон-
ного поезда

$$w_0 = 1,83 + 0,015v + \frac{0,00027Av^2}{P' + Q} (13 + 0,3nL),$$

где: A — площадь поперечного сечения вагона, n — число осей (Довера).

Соппротивление при трогании
с места мотор-вагонного поезда.

$$w_0 = (P' + Q) \cdot (4 + i + 2i_{\text{крив.}}) + 102a(P' + Q + mn'' + 0,05n'),$$

где n' — число моторов, n'' — число осей; mn'' можно принять $0,12P'$, где P' — сцепной вес.

Вагоны

1. Товарные вагоны.

1. а) Соппротивление двухос-
ных вагонов (при точных рас-
четах)

$$w''_2 = \left[1,4 + \left(0,04 + \frac{0,32}{q} \right) v \right] q(m)$$

(Харьково-Николаевской жел. дор.).

10
15
20
25
30

2,12
2,01
1,96
1,93
1,91

2,84
2,63
2,52
2,46
2,41

3,56
3,24
3,08
2,98
2,92

4,28
3,85
3,64
3,51
3,42

5,00
4,46
4,20
4,04
3,93

5,72
5,08
4,76
4,57
4,44

6) Соппротивление двухосных
вагонов (при обычных расче-
тах) для груженых вагонов .

$$1,4 + 0,05v$$

в) То же для порожних ва-
гонов

$$1,4 + 0,08v$$

1,9
2,2

2,4
3,0

2,9
3,8

3,4
4,6

3,9
5,4

4,4
6,2

Т а б л и ц а 7 (продолжение)

Род подвижного состава	Формулы удельного сопротивления $кz/m$	Значения удельного сопротивления для различных скоростей v км/час									
		10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2. а) Сопротивление вагонов на тележках (при точных расчетах)	$\left(\frac{v + 65}{12 + 0,55q} \right)$ (Иллинойского института).	q (т)									
		20									
		30									
		40									
		50									
		60									
		70									
		80									
		1,5 + 0,02v									
		2,5 + 0,04v									
II. Пассажирские вагоны.	1,6 + 0,027v + 0,0003v ² (Надаля).	1,9	2,26	2,68	3,16	3,70	4,30	4,96	5,68	6,46	7,30
		1,62	1,88	2,18	2,52	2,90	3,32	3,78	4,28	4,82	5,40
III. Вагоны узкоколейных железных дорог.	2,6 + 0,0003v ² 2,7 + 0,0002v ² 2,8 + 0,0002v ²	2,63	2,72	2,87	3,08	3,78	—	—	—	—	—
		2,72	2,78	2,88	3,02	3,20	—	—	—	—	—
		2,82	2,88	2,98	3,12	3,30	—	—	—	—	—
Сопротивление вагонов:											
1) для колеи шириною 1 000 м											
2) " " " 750 "											
3) " " " 600 "											

П р и м е ч а н и е. Некоторые из приведенных формул устарели, так как после их составления произошли изменения в конструкции подвижного состава и верхнего строения пути. Формулы удельного сопротивления нуждаются в периодической поверке и исправлении.

уклона $0,001i$, или $i = 1000 \frac{h}{l_1}$ (если h и l_1 — величины в одинаковых мерах и i — величина уклона, выраженная в тысячных долях).

Удельное сопротивление от уклона получается равным:

$$\frac{1000 q_2}{q} = 1000 \frac{h}{l_1} = i,$$

т. е. удельное сопротивление от уклона равняется величине уклона, выраженной в тысячных долях.

3. Сопротивление поезда при движении по кривым участкам пути

24. При прохождении поезда по кривым участкам пути получается дополнительное сопротивление вследствие трения гребней колес, нажимающих на рельс, и трения бандажей колес. Дополнительное трение бандажей получается вследствие того, что колесам одной и той же оси приходится пробегать различные расстояния (большее по наружному рельсу кривой и меньшее по внутреннему). Хотя для облегчения прохождения кривых бандажам придают коническую форму, но все же правильная установка на кривой всех осей невозможна и некоторые колеса должны немного боксовать. Сопротивление при прохождении кривых участков пути зависит от легкости вписывания подвижного состава в кривые, что в свою очередь зависит от радиуса кривых, ширины колеи и величины базы подвижного состава.

Для подвижного состава дорог СССР сопротивление от кривой для нормальной колеи можно принимать:

$$w'_r = w''_r = w_r = \frac{750}{R} \text{ кг/м},$$

где R — радиус кривой (в метрах), или:

$$w'_r = w''_r = w_r = \frac{13\alpha^\circ}{s_r},$$

где α° — величина центрального угла кривой (в градусах) и s_r — длина кривой (в метрах).

Для магистральных дорог усиленного и нормального типов для поездов, состоящих преимущественно из четырехосных вагонов на тележках, можно принимать:

$$w_r = \frac{630}{R} = \frac{11\alpha^\circ}{s_r}.$$

Для узкой колеи можно принимать:

для колеи шириной 1000 мм:

$$w''_r = \frac{400}{R-2};$$

для колеи шириной 750 мм:

$$w''_r = \frac{300}{R-10};$$

для колеи шириной 600 мм:

$$w''_r = \frac{200}{R-15}.$$

Влияние величины базы подвижного состава на сопротивление в кривых участках пути может быть учтено по формулам Франка:

для пассажирских вагонов:

$$w''_r = \frac{d}{R} \left(180 - \frac{1000d}{R} \right) \text{ кг/м},$$

где d — база вагонов (в метрах) и для тележечных вагонов база тележки;

для товарных вагонов:

$$w''_r = \frac{d}{R} \left(180 - \frac{2000d}{R} \right) \text{ кг/м.}$$

25. Для получения полного сопротивления поезда необходимо удельное сопротивление помножить на вес поезда (локомотива, вагонов).

Вес локомотивов может быть взят из их паспортных книжек, вес вагонов с нагрузкой должен быть задан. Если же определенного задания нет, то можно принять следующий вес вагонов.

Т а б л и ц а 8

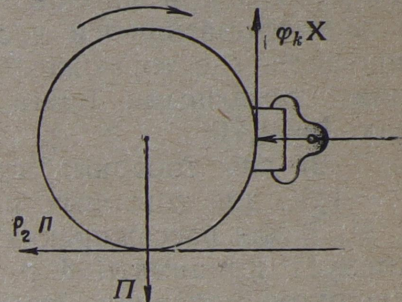
Т и п в а г о н а	Тара (в тоннах)	Подъемная сила (в тоннах)
1. Товарный крытый, нормальный, двухосный: нетормозной	7,0	16,5
тормозной	8,0	16,5
2. Товарный усиленный двухосный	9,3	20,0
3. Товарный крытый четырехосный старого типа	21,3	40,0
4. Товарный крытый нового типа	21,6	50,0
5. Полувагон четырехосный	21,3	50,0
6. Платформа двухосная: нетормозная	6,8	16,5
тормозная	7,8	16,5
7. Платформа четырехосная	18,4	45,4
8. Цистерна двухосная: нетормозная	7,55	14,0
тормозная	8,13	14,0
9. Цистерна четырехосная старого типа: нетормозная	13,6	27,1
тормозная	14,6	27,1
10. Цистерна четырехосная нового типа	24,0	48,0
11. Изотермический двухосный: нетормозной	13,0	12,3
тормозной	14,4	12,3
12. Изотермический четырехосный	36,0	24,0
13. Пассажирский двухосный 14-метровый пригородного сооб- щения	20,45	4,75
14. Пассажирский двухосный 14-метровый местного сообщения и трехосный	24,6	3,6
15. Пассажирский четырехосный жесткий 18-метровый	38,5	4,9
16. Пассажирский четырехосный жесткий 20,2 м	43,5	5,4

5. Тормозная сила

26. Если для уменьшения скорости движения или остановки поезда естественное сопротивление оказывается недостаточным, то приходится применять искусственное сопротивление в форме торможения. Торможение осуществляется с помощью нажатия колодок на бандажи колес, вследствие чего создается трение между ними, а в некоторых случаях также работой машины локомотива в направлении, обратном движению (контрпар у паровоза, электрическое торможение и рекуперация у электровоза).

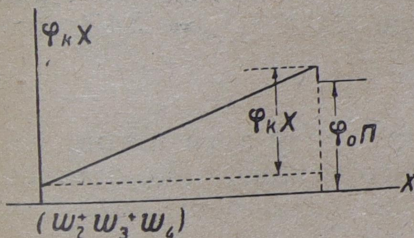
1. Торможение колодками тормоза

27. Действие тормозных колодок заключается в следующем. К бандажу колеса силой X прижимается тормозная колодка (черт. 9). Между прижатой к бандажу колодкой и поверхностью бандажа создается сила трения $\varphi_k X$, где φ_k — коэффициент трения между бандажом и колодкой. Эта сила пропорциональна нажатию колодки. Сила $\varphi_k X$ препятствует вращению колеса. Кроме этой силы вращению колеса препятствуют некоторые элементы основного сопротивления W_m . Сумма этих сил W_m может возрастать только до известного предела, равного силе трения бандажа о рельс $\varphi_0 \Pi$, где Π — нагрузка колеса на рельс. Как только сумма сил $\varphi_k X + W_m$ станет равной или больше $\varphi_0 \Pi$, колесо перестанет вращаться и будет скользить по рельсу (заклинится). При этом бандажи колес стираются, вследствие чего на них получают выбоины. При этом тормозной эффект не только не возрастает, но даже несколько уменьшается, так как трение первого рода притертой поверхности бандажа меньше суммы сил $X\varphi_k + W_m$ (черт. 10). Из сказанного следует, что для предупреждения заклинивания колеса должно быть соблюдено условие:



Черт. 9.

$\varphi_k X + W_m \leq \varphi_0 \Pi$, или $\varphi_k X \leq \varphi_0 \Pi - W_m$, откуда, $X \leq \frac{\varphi_0 \Pi - W_m}{\varphi_k}$.



Черт. 10.

Приравняв W_m величине $a\varphi_0 \Pi$, где $a = \frac{W_m}{\varphi_0 \Pi}$, получим $W_m = a\varphi_0 \Pi$ и $X \leq \frac{\varphi_0}{\varphi_k} \Pi (1-a)$.

В виду того, что величина a не велика, обычно принимают $X \leq \frac{\varphi_0}{\varphi_k} \Pi$, что не имеет практического значения, так как отношение $\frac{X}{\Pi} \leq \frac{\varphi_0}{\varphi_k}$,

или, более точно: $\frac{X}{\Pi} = \frac{\varphi_0 (1+a)}{\varphi_k}$, определяется опытным путем.

Отношение $\frac{X}{\Pi} = \frac{\varphi_0}{\varphi_k} = \delta$ называется коэффициентом нажатия тормозов.

Ю. В. Ломоносов рекомендует принимать X не более $0,83\Pi$, при чем для того, чтобы избежать заклинивания колес во всех случаях, нагрузка Π должна быть принята при расчетах наименьшей возможной во время работы, т. е. для тендеров и вагонов должна быть принята только тара. Соответственно этому должна быть рассчитана тормозная передача (при ручном тормозе — шаг тормозного винта и при всех тормозах — соотношение рычагов). В некоторых системах автоматических тормозов (Кунце-Кнорра, Казанцева) можно получать большее или меньшее тормозное усилие при помощи особого прибора при воздухораспределителе; для этих систем тормозов нагрузка Π может быть принята при расчетах полной.

Сила X нажатия тормозных колодок на бандажи может быть определена расчетом. Если усилие, прилагаемое на рукоятке ручного тормоза или в тормозном цилиндре воздушного тормоза, составляет p , передаточное число тормозного прибора — m , коэффициент полезного действия передачи — a , то $X = amr$. При этом передаточное число m должно быть подсчитано по размерам частей передачи данного тормоза. Для определения усилия p можно принимать: усилие тормозильщика на рукоятке ручного тормоза 32 кг и коэффициент полезного действия 0,50; давление в тормозном цилиндре тормоза Вестингауза 3,3 атм, а в тормозных цилиндрах пря-

модействующего тормоза — по его действительной величине; коэффициент полезного действия передачи автоматического тормоза — 0,90.

Если сила X нажатия колодок на бандажи подсчитана, то тормозное усилие определяется по выражению $\varphi_k X$, если же X неизвестно, то тормозное усилие определяется по выражению $\varphi_k \delta \Pi$.

При этом, принимая тормозной вес равным весу тары, можно принимать следующие величины коэффициента δ :

1) для товарных вагонов при ручных тормозах для общих расчетов $\delta = 0,50$, а при вполне исправных тормозах $\delta = 0,60$; при расчетах остановки оторвавшейся части состава, а также для расчетов для тех мест профиля, где торможение вагонов всегда обязательно, в порядке инструкции, тормозными бригадами, $\delta = 0,60$ и при вполне исправных тормозах $\delta = 0,70$;

2) для товарных груженых вагонов при автоматических тормозах $\delta = 1,1$, для товарных порожних вагонов $\delta = 0,6$;

3) для пассажирских поездов для достижения спокойного торможения следует принимать δ равной от 0,1 до 0,25, но при этом получается слишком медленное торможение, т. е. значительная потеря времени на остановку, вследствие чего практически применяют больший коэффициент δ , — до $\delta = 0,6$;

4) для локомотивов $\delta =$ от 0,4 до 0,5; для тендеров $\delta =$ от 0,6 до 0,9.

Полное тормозное усилие всего поезда составляет:

$$B_k = \sum \varphi_k X = \varphi_k \sum X = \varphi_k \sum \delta \Pi.$$

Так как при расчетах невозможно учитывать отдельно значение $\delta \Pi$ для каждой оси и затем определять $\sum \delta \Pi$, то обычно принимают среднее значение δ_k ; тогда: $B = \varphi_k \sum \delta \Pi = 1000 \varphi_k \delta_k Q_m$, где $1000 \delta_k Q_m = \sum \delta \Pi$, или $\delta_k = \frac{\sum \delta \Pi}{1000 Q_m}$, где Q_m — тормозной вес поезда в тоннах.

Для расчетов тормозное усилие, так же, как и силу тяги и сопротивление, удобнее брать в виде удельного тормозного усилия, т. е. отнесенного к единице веса (одной тонне) поезда, которое равняется:

$$b_k = \frac{B_k}{P + Q} = 1000 \varphi_k \delta_k \cdot \frac{Q_m}{P + Q}.$$

Величина $\frac{Q_m}{P + Q} \cdot \delta_k = \frac{\sum X}{1000(P + Q)}$ называется *тормозным коэффициентом* и обозначается буквой ϑ .

Следовательно:

$$\vartheta = \frac{Q_m}{P + Q} \cdot \delta_k = \frac{\sum X}{1000(P + Q)};$$

$$b_k = 1000 \varphi_k \vartheta;$$

$$B_k = 1000 \varphi_k \vartheta (P + Q)$$

(7)
(8)

Во избежание заклинивания колес тормозное усилие не должно превышать величины $\varphi_0 Q_m$, где для паровозов и вагонов коэффициент трения следует принимать $\varphi_0 = \frac{1}{9}$. Для соблюдения этого условия должно иметь место равенство $1000 \varphi_k \vartheta (P + Q) = \frac{Q_m 1000}{9}$, откуда получается предельное допускаемое значение:

$$\vartheta = \frac{\frac{Q_m 1000}{9}}{1000 \varphi_k (P + Q)} = \frac{Q_m}{9 \varphi_k (P + Q)}.$$

Это значение ϑ должно быть поверено отдельно для локомотива, тендера и вагонов.

Коэффициент трения между колодками и бандажами φ_k не есть величина постоянная: он меняется в зависимости от изменения скорости. Значения φ_k даны в таблице 9.

Т а б л и ц а 9

ЗНАЧЕНИЯ КОЭФФИЦИЕНТА ТРЕНИЯ МЕЖДУ ТОРМОЗНЫМИ КОЛОДКАМИ И БАНДАЖАМИ φ_k .

	С к о р о с т и v км/ч.									
	10	20	30	40	50	60	70	80	90	100
1. Для неблагоприятных условий торможения $0,2 - 0,002v + 0,000065v^2$	0,181	0,163	0,146	0,130	0,116	0,100	0,092	0,082	0,073	0,065
2. Для неблагоприятных условий торможения (погоды) при скорости не свыше 90 км/ч. $0,2 - 0,0015v$	0,185	0,170	0,155	0,140	0,125	0,110	0,095	0,080	0,065	—
3. При благоприятных условиях торможения $0,3 - 0,003v + 0,00001v^2$	0,271	0,244	0,219	0,196	0,175	0,156	0,139	0,124	0,111	0,100

2. Торможение машиной локомотива

28. Для торможения поезда локомотивом машину локомотива заставляют работать в направлении, обратном движению локомотива. Такая работа возможна для паровозов (контрпар) и для электровозов (рекуперация или электрическое торможение). В тепловозах с жесткой передачей использовать машину для торможения нельзя, в тепловозах с другими видами передаточных механизмов было бы возможным только при наличии специального приспособления, поглощающего энергию, которому могла бы быть передана вырабатываемая машиной энергия при работе машины в направлении, обратном движению.

При нормальных условиях работы при расчетах торможение машиной не должно учитываться. Общая расчетная тормозная сила движущих колес локомотива от тормозных колодок и от машины (включая основное сопротивление машины от трения движущихся частей) не должно превосходить допускаемой величины тормозной силы $\varphi_k P_k$.

29. Для паровозов величина контрпара $B_m = M\eta_n \xi_n$. По опытным данным Ю. В. Ломоносова можно принять $\eta_n \xi_n = 0,55 - 0,05n$, где n — число оборотов колес в секунду [$n = 88,3 \frac{v}{D}$, где v — скорость (в километрах в час) и D — диаметр ведущих колес (в миллиметрах)]. Для упрощения расчета правилами для производства тяговых расчетов НКПС рекомендуется принимать $\eta_n \xi_n = 2\varphi_k$; тогда $B_k = 2\varphi_k M$ и $b_k = \frac{2\varphi_k M}{P + Q}$.

Для однообразия расчета можно представить значения удельной тормозной силы в виде: $b_n = 1000\varphi_k \vartheta_n$, где ϑ_k определяется из равенства:

$$1000\varphi_k \vartheta_n = \varphi_k \frac{2M}{(P + Q)},$$

откуда:
$$\vartheta_n = 0,002 \frac{M}{(P + Q)}.$$

Как выше было указано, должно быть соблюдено условие:

$$\vartheta_n \leq \frac{P_m}{9\varphi_k(P+Q)}.$$

При одновременном действии тормозных колодок и контрпара должно быть соблюдено условие:

$$(1000\varphi_k\vartheta + 1000\varphi_k\vartheta_n)P_k + w_m P \leq 1000 \frac{P_m}{9},$$

откуда:

$$(\vartheta + \vartheta_n) = \frac{1000 \frac{P_m}{9} - w_m P}{1000\varphi_k P_k} = \frac{P_m - 0.009w_m P}{9\varphi_k P_k}.$$

30. При электрической тяге электрическое торможение достигается обратной работой моторов (как динамомашин). Вырабатываемый при этом ток направляется в специальные приемники (сопротивление), где обращается в тепловую энергию, или обратно в провод. Обратная подача в провод тока, вырабатываемого моторами электровоза, называется рекуперацией.

Тормозной момент M_m осей электровоза должен определяться по тормозным характеристикам, помещаемым в их паспортных книжках или построенным по электродинамическим характеристикам электровозов. Если имеются тормозные кривые электровоза, то величина тормозной силы может быть определена по формуле:

$$B_s = \frac{2000 M_m^1}{D} \eta_m.$$

Наибольшая величина тормозной силы не должна превышать сцепной силы, т. е. должно быть соблюдено условие: $B_s \leq \varphi_k P_k$.

6. Уравнение движения поезда

31. Зависимость между силами, действующими на поезд, и изменением скорости движения выражается *уравнением движения поезда*.

Под влиянием действующих сил: силы тяги F , сопротивления W и тормозного усилия B , поезд меняет скорость движения v , при чем будет меняться живая сила массы поезда.

Живая сила поезда складывается из живой силы массы поезда, перемещающейся вдоль пути, и из живой силы вращающихся частей (колесных пар).

Обозначим массу всего поезда буквой M , массу поезда без колесных пар — через m_k , массу колесных скатов — m_c , момент инерции колесной пары — через J .

Живая сила массы поезда за вычетом колесных пар будет равна: $\frac{m_k v^2}{2}$; живая сила массы колесных пар будет: $\frac{m_c v^2}{2} + \sum \frac{J \omega^2}{2}$, где ω — угловая скорость вращения колес. Если радиус колес R , то $R\omega = v$, откуда $\omega = \frac{v}{R}$.

Живая сила всей массы поезда равняется:

$$\frac{m_k v^2}{2} + \frac{m_c v^2}{2} + \sum \frac{J \omega^2}{2} = \frac{(m_k + m_c) v^2}{2} + \sum \frac{J v^2}{2R^2} = \left(M + \sum \frac{J}{R^2} \right) \frac{v^2}{2}.$$

Момент инерции имеет измерение (ML^2) , следовательно, величина $\sum \frac{J}{R^2}$ имеет измерение массы: $\frac{[ML^2]}{[L^2]} = [M]$. На основании этого член $\sum \frac{J}{R^2}$

можно представить в виде γM , где $\gamma = \frac{\sum \frac{J}{R^2}}{M}$. Тогда значение живой силы массы поезда получится в виде:

$$(M + \gamma M) \frac{v^2}{2} = \frac{Mv^2}{2} (1 + \gamma).$$

При движении поезда на некотором протяжении пути ds под влиянием действующих сил произойдет изменение живой силы. Величина этого изменения равняется: $d \left[\frac{Mv^2}{2} (1 + \gamma) \right] = M(1 + \gamma)v \cdot dv$.

Это изменение живой силы должно соответствовать механической работе сил на том же протяжении ds , т. е. величине $(F \pm W - B) ds$; следовательно:

$$M(1 + \gamma)v \cdot dv = (F \pm W - B) ds.$$

Это уравнение и представляет собой уравнение движения поезда, которое применяется обычно в несколько преобразованном виде.

Мы не имеем данных о массе поезда, а знаем вес его, поэтому в уравнение вместо массы нужно ввести вес $(P + Q)$. Вес $(P + Q) = \frac{Mg}{1000}$, где P — вес локомотива и Q — вес вагонов в тоннах, g — ускорение свободно падающего тела в системе километр — час, т. е.: $g = \frac{9,81 \cdot 60^2}{1000} = 127000 \text{ км/ч}^2$, следовательно:

$$M = \frac{1000(P + Q)}{g} = \frac{(P + Q)}{127}.$$

Кроме того заменяем v выражением $v = \frac{ds}{dt}$. Произведя указанные изменения, получим:

$$\frac{1000(P + Q)}{g} (1 + \gamma) \frac{ds}{dt} \cdot dv = (F \pm W - B) ds,$$

откуда:

$$\frac{dv}{dt} = \frac{(F \pm W - B)}{(P + Q)} \cdot \frac{g}{1000(1 + \gamma)}.$$

Множитель $\frac{g}{1000(1 + \gamma)}$ для определенного типа подвижного состава есть величина постоянная, имеющая измерение ускорения; он обозначается буквой ζ .

$$\text{Отношение } \frac{(F \pm W - B)}{(P + Q)} = \frac{F}{(P + Q)} \pm \frac{W}{(P + Q)} - \frac{B}{(P + Q)} = f \pm w - b.$$

Подставив полученные выражения в выражение ускорения, получим:

$$\frac{dv}{dt} = \zeta (f \pm w - b). \quad (8)$$

Это выражение представляет собою уравнение движения поезда, которым пользуются при производстве тяговых расчетов.

Значения $g \frac{J}{R^2}$, γ и ζ для подвижного состава дорог СССР указаны в таблице 10.

Таблица 10

Род подвижного состава		$g \cdot \frac{J}{R^2}$ для одной оси	$g \Sigma \frac{J}{R^2}$ для вагона или паровоза	$q(t)$ вес единицы	$\gamma = \frac{g \Sigma \frac{J}{R^2}}{q}$	$1000(1+\gamma)$	$\zeta = \frac{g}{1000(1+\gamma)}$
Товарный вагон двух- осный	порожний . . .	420	840	7	0,120	1 120	113
	груженный . . .	420	840	20	0,042	1 042	122
Товарный вагон четы- рехосный	порожний . . .	420	1 680	20	0,084	1 084	117
	груженный . . .	420	1 680	60	0,028	1 028	123
Пасса- жирский вагон	3-осный	420	1 260	25	0,050	1 050	121
	4-осный	420	1 680	40	0,042	1 042	122
Паровоз сер. О ^в	. . . . .	774	3 096	51,2	0,060	1 060	120
" " Б	. . . . .	775	3 100	60,85	0,051	1 051	121
" " Э	. . . . .	834	4 170	80,2	0,052	1 052	121
Паровоз сер. Эф	движущ. оси .	834	4 661	88	0,053	1 053	121
	поддерж. оси .	491					
Паровоз сер. Н ^у	движущ. оси .	1 018	3 545	60,3	0,059	1 059	120
	поддерж. оси .	491					
Паровоз сер. С	движущ. оси .	1 079	4 219	75,8	0,055	1 055	121
	поддерж. оси .	491					
Тендер	3-осный	491	1 473	34	0,043	1 043	122
	4-осный	491	1 964	45	0,044	1 044	122

Для состава поезда при одном паровозе и m вагонах:

$$\gamma = \frac{\left(g \Sigma \frac{J}{R^2}\right)_{\text{пар}} + \left(g \Sigma \frac{J}{R^2}\right)_{\text{тенд}} + m \left(g \Sigma \frac{J}{R^2}\right)_{\text{вал}}}{(P_n + P_m + m q) \cdot 1000}.$$

Для порожнего товарного состава получается: $\zeta = 115$ (км/ч²) для груженого товарного и пассажирского: $\zeta = 122$ (км/ч²).

Для практических целей с достаточной степенью точности для товарного груженого и пассажирского поездов можно принимать: $\zeta = 120$ (км/ч²).

Элементарный вывод уравнения движения поезда

32. Под влиянием действующей на поезд силы ($F \pm W - B$) будут получаться линейное ускорение s всей массы поезда M и угловое ускорение вращающихся частей поезда, т. е. колесных пар, масса которых m_c .

Обозначим силу, влияющую на изменение линейного ускорения, буквой p и силу, влияющую на изменение углового ускорения колесных пар, буквой p_c , при чем очевидно, что:

$$p + p_c = (F \pm W - B). \quad (I)$$

Сила p , вызывающая линейное ускорение массы поезда, равняется произведению массы на ускорение, т. е.: $p = M \cdot s$.

Для нахождения другой составляющей p_c определим вращающий момент колесных пар. Сила p_c передается через буксы и осевые шейки оси колесной пары и заставляет колесо

поворачиваться около точки касания с рельсом, которое является мгновенным центром вращения. В этой точке появляется сила трения колеса о рельс, равная силе p_c . Вращающий момент этой силы: $p_c \cdot R$, где R — радиус колеса. Под влиянием этого момента силы p_c колесная пара получает угловое ускорение. Каждая частица колесной пары будет получать линейное ускорение по окружности, описываемой ею около оси вращения.

Обозначим массу каждой частицы буквой m_r , расстояние центра тяжести каждой частицы от оси вращения — через r , линейную скорость частицы — v_r , угловую скорость — ω , линейное ускорение частицы — c_r , угловое ускорение — ε и касательную силу, приложенную к каждой частице, — через P_m . Касательная сила P_m для каждой частицы создает вращающий момент $P_m \cdot r$. Если предположить колесную пару, состоящую из бесконечно-малых частиц, каждая из которых находится под действием момента $P_m \cdot r$, то вся колесная пара будет находиться под действием суммы всех моментов, т. е. $\Sigma P_m \cdot r$, которая, очевидно, должна быть равна

вращающему моменту $p_c \cdot R$ — силе p_c ; следовательно: $p_c \cdot R = \Sigma P_m \cdot r$, откуда $p_c = \frac{\Sigma P_m \cdot r}{R}$.

Под влиянием касательной силы P_m каждая частица получит линейное ускорение c_r , при чем будет иметь место равенство $P_m = m_r \cdot c_r$. Линейное ускорение измеряется отношением приращения скорости Δv_r к приращению (промежутку) времени Δt , т. е. $c_r = \frac{\Delta v_r}{\Delta t}$. Линейная

скорость измеряется отношением пройденного пути Δs к промежутку времени Δt , т. е.: $v_r = \frac{\Delta s}{\Delta t}$.

При вращательном движении пройденный путь есть дуга окружности, которая соответствует центральному углу поворота $\Delta \varphi$ в промежуток времени Δt . Длина этой дуги равняется

$\Delta s = \Delta \varphi \cdot r$, следовательно, скорость: $v_r = \frac{\Delta s}{\Delta t} = \frac{\Delta \varphi}{\Delta t} r$. Но $\frac{\Delta \varphi}{\Delta t}$ есть угловая скорость вращения ω ,

след., $v_r = \omega r$. Ускорение $c_r = \frac{\Delta \omega \cdot r}{\Delta t} = \frac{\Delta \omega}{\Delta t} r$, где $\frac{\Delta \omega}{\Delta t}$ есть угловое ускорение ε . Следовательно,

линейное ускорение каждой частицы: $c_r = \varepsilon \cdot r$ и касательная сила $P_m = m_r \cdot \varepsilon \cdot r$. Подставляя это

значение касательной силы в выражение $p_c = \frac{\Sigma P_m r}{R}$, получим: $p_c = \frac{\Sigma m_r \varepsilon r^2}{R} = \frac{\varepsilon}{R} \Sigma m_r r^2$.

Величина $\Sigma m_r r^2$ называется моментом инерции и обозначается буквой J . Приняв это это обозначение, получим: $p_c = \frac{\varepsilon}{R} J$. Пользуясь выражением $c_r = \varepsilon \cdot r$, можно величину угло-

вого ускорения ε заменить величиной линейного ускорения частицы или точки на окружности колеса, которое будет равно ускорению поезда c , так как путь, проходимый поездом, соответствует длине дуги окружности колеса (окружности катания), на которую колесо при вращении переместится по рельсу. Расстояние точки на окружности колеса до центра вращения

равняется радиусу колеса R , следовательно: $c = \varepsilon R$, откуда: $\varepsilon = \frac{c}{R}$ и $p_c = \frac{c \Sigma m r^2}{R^2} = c \frac{J}{R^2}$.

Величина $\frac{\Sigma m r^2}{R^2}$ имеет измерение массы. Для данного подвижного состава $\Sigma m r^2$ и R^2 , а стало быть, и $\frac{\Sigma m r^2}{R^2} = \frac{J}{R^2}$ есть величина вполне определенная и может быть вычислена.

Так как эта величина имеет измерение массы, то можно найти отношение ее ко всей массе состава поезда, т. е. определить величину $\gamma = \frac{\frac{\Sigma m r^2}{R^2}}{M} = \frac{J}{R^2 M}$, откуда получаем: $\frac{\Sigma m r^2}{R^2} = \frac{J}{R^2} = \gamma M$. Значения γ для подвижного состава дорог СССР указаны в таблице 10.

Подставив значения p и p_c в уравнение (I), получим:

$$(F \pm W - B) = p + p_c = M \cdot c + c \frac{\Sigma m r^2}{R^2} = M c + M c \gamma = (1 + \gamma) M c, \quad (II)$$

т. е. равнодействующая всех сил в поезде $(F \pm W - B)$ равняется произведению массы на ускорение и на отвлеченный множитель $(1 + \gamma)$, где γ есть поправка вследствие наличия в поезде вращающихся частей.

Так как мы знаем вес поезда, а не массу его, то заменим в уравнении массу весом поезда, деленным на ускорение силы земного притяжения: $M = \frac{(P + Q) \cdot 1000}{g}$ (множитель

1 000 берется для перевода веса в килограммы, так как в этих мерах измеряются сила тяги, сопротивление и тормозное усилие).

Так как при движении поезда скорость измеряется километрами в час, то и ускорение нужно выразить в этих мерах: $g = 9,81 \cdot \frac{60^4}{1000} = 127\,000 \text{ км/ч}^2$. Подставив найденное выражение массы в уравнение (II) получим:

$$(1 + \gamma) \frac{(P + Q) \cdot 1\,000c}{g} = (F \pm W - B) = (f \pm w - b) (P + Q),$$

откуда после сокращения получим:

$$\frac{(1 + \gamma) \cdot 1\,000c}{g} = (f \pm w - b)$$

и:

$$c = \frac{g}{1000 \cdot (1 + \gamma)} (f \pm w - b) \quad (\text{III})$$

Величина $\frac{g}{1000 \cdot (1 + \gamma)}$ для данного состава может быть определена; ее принято обозначать буквой ζ . Ускорение c принято обозначать отношением бесконечно-малого приращения скорости dv за бесконечно-малый промежуток времени dt к этому промежутку времени: $c = \frac{dv}{dt}$. Приняв эти обозначения, получим окончательно уравнение движения поезда в виде:

$$c = \frac{dv}{dt} = \zeta (f \pm w - b) \quad (\text{IV})$$

33¹⁾. Для тепловозов с электрической передачей и электровозов выражение живой силы несколько отличается от выражения живой силы вагонов и паровозов $\frac{Mv^2}{2} + \sum \frac{J\omega^2}{2}$. В тепловозах с электрической передачей и в электровозах имеются вращающиеся массы якорей моторов, связанных с осями, при чем скорость их вращения больше скорости вращения колес. Вследствие этого приходится добавлять член $\sum \frac{J_a \omega_a^2}{2}$, где J_a — момент инерции якорей моторов, ω_a — их угловая скорость.

Обозначив отношение числа оборотов якорей к числу оборотов колес буквой k , получим:

$$\omega_a = k\omega = k \frac{v}{R} \text{ и } \sum = \frac{J_a \omega_a^2}{2} = \frac{v^2 k}{2} \sum \frac{J_a}{R^2}.$$

Полное значение живой силы тепловоза с электрической передачей и электровоза составляет:

$$\frac{v^2}{2} \left(M + \sum \frac{J}{R^2} + k \sum \frac{J_a}{R^2} \right).$$

Обозначая $\sum \frac{J}{R^2} = \gamma'' M = \gamma'' \frac{Q}{g}$ и $\sum \frac{J}{R^2} + k \sum \frac{J_a}{R^2} = \gamma' \frac{P}{g}$, где γ'' — коэффициент для вагонов, а γ' — для тепловозов или электровозов, получим полное значение живой силы всего поезда:

$$\frac{v^2}{2g} \left[(1 + \gamma') P + (1 + \gamma'') Q \right]$$

и приращение ее:

$$\frac{v \cdot dv}{g} \left[(1 + \gamma') P + (1 + \gamma'') Q \right].$$

¹⁾ Ю. Ломоносов — Опыты 1925 г. над тепловозом Ю⁹ 001,

Так как приращение живой силы равняется работе действующих на поезд сил, т. е. величине $(F_k - W_k) ds$, где F_k — сила тяги на ободу и W_k — сопротивление всего поезда, то:

$$\frac{v \cdot dv}{g} \left[(1 + \gamma') P + (1 + \gamma'') Q \right] = (F_k - W_k) ds.$$

Заменяя $v = \frac{ds}{dt}$ и сделав соответствующие сокращения, получим:

$$\frac{1}{g} \cdot \frac{dv}{dt} = \frac{F_k - W_k}{[(1 + \gamma') P + (1 + \gamma'') Q]}.$$

Для одних вагонов соответственно получится:

$$\frac{1}{g} (1 + \gamma'') Q \frac{dv}{dt} = F_n - W_n, \text{ где } F_n \text{ — сила тяги на крюке и } W_n \text{ —}$$

сопротивление вагонов. Подставим в полученные уравнения значения сопротивления поезда: $W_k = w'_0 P + w''_0 Q + i_k (P + Q)$ и сопротивления вагонов: $W_n = w''_0 Q + i_k Q$ и определим значения i_k .

Из первого уравнения получим:

$$i_k = \frac{F_k}{P + Q} - \frac{w'_0 P + w''_0 Q}{P + Q} - \frac{(1 + \gamma') P + (1 + \gamma'') Q}{(P + Q)} \frac{1}{\gamma} \cdot \frac{dv}{dt},$$

а из второго:

$$i_k = \frac{F_n}{Q} - w''_0 - (1 + \gamma'') \frac{1}{g} \cdot \frac{dv}{dt}.$$

Приравнявая друг другу полученные значения i_k , получим:

$$F_k = \frac{(P + Q)}{Q} \cdot F_n + P(w'_0 - w''_0) + (\gamma' - \gamma'') \frac{P}{g} \cdot \frac{dv}{dt},$$

или:

$$\frac{dv}{dt} = g \frac{F_k - \frac{(P + Q)}{Q} \cdot F_n - P(w'_0 - w''_0)}{(\gamma' - \gamma'') P}.$$

(Для тепловоза (Э — Эл — 2) $\gamma' = 0,18$ и $P = 130t$).

7. Решение уравнения движения поезда

34. Тяговые расчеты производятся путем решения основного уравнения движения поезда $\frac{dv}{dt} = \zeta(f_k \pm w_k - b_k)$. Это уравнение дает возможность определить время t прохода поездом определенного расстояния s , скорость движения v и проходимое расстояние s .

Непосредственное интегрирование уравнения движения поезда дает возможность определить время прохода в зависимости от скорости движения. Непосредственно из уравнения движения имеем:

$$dt = \frac{dv}{\zeta(f_k \pm w_k - b_k)},$$

откуда:

$$t - t_0 = \int_{v_0}^v \frac{dv}{\zeta(f_k \pm w_k - b_k)}, \text{ или: } v = \varphi(t).$$

Представляя скорость в виде $v = \frac{ds}{dt} = \varphi(t)$,

получим:

$$ds = \varphi(t) dt,$$

откуда:

$$s - s_0 = \int_{t_0}^t \varphi(t) dt, \text{ или: } t = \chi(s),$$

т. е. получаем значение времени прохода поездом различных величин пути.

Подставляя из выражения $v = \frac{ds}{dt}$ значение $dt = \frac{ds}{v}$ в уравнение движения поезда, получим:

$$\frac{v \cdot dv}{ds} = \zeta(f_k \pm w_k - b_k),$$

откуда:

$$ds = \frac{v \cdot dv}{\zeta(f_k \pm w_k - b_k)}$$

и

$$s - s_0 = \int_{v_0}^v \frac{v \cdot dv}{\zeta(f_k \pm w_k - b_k)},$$

или:

$$v = \psi(s),$$

т. е. получаем скорости движения при прохождении различных протяжений пути.

Для возможности аналитического интегрирования дифференциального уравнения движения поезда нужно заменить значения f_k , w_k и b_k формулами, выражающими их зависимость от скорости движения. Аналитическое интегрирование довольно кропотливо и не дает той наглядности, которая получается при графическом способе интегрирования; последним обыкновенно и пользуются.

При установившейся скорости движения уравнение движения принимает весьма простой вид. В этом случае ускорение равно нулю, т. е. $\frac{dv}{dt} = 0$, следовательно:

$$\zeta(f_k \pm w_k - b_k) = 0$$

и

$$f_k \pm w_k - b_k = 0.$$

(9)

Подставляя вместо удельных сил значения

$$f_k = \frac{F_k}{P + Q}, \quad w_k = \frac{W_k}{P + Q} \text{ и } b_k = \frac{B_k}{P + Q},$$

получим:

$$\frac{F_k \pm W_k - B_k}{P + Q} = 0,$$

откуда:

$$F_k \pm W_k - B_k = 0.$$

(10)

Эти два уравнения дают возможность весьма просто определить при установившейся скорости движения: 1) вес поезда ($P + Q$), который локомотив может везти по данному уклону $\pm i$ с определенной скоростью v ; 2) уклон $\pm i$, по которому локомотив может везти поезд весом ($P + Q$) со скоростью v , и 3) скорость v , с которой локомотив может везти поезд весом ($P + Q$) по уклону $\pm i$.

В этих случаях тормозная сила обыкновенно отсутствует, т. е. $B = 0$, вследствие чего уравнение движения поезда получает вид: $F_k \pm W_k = 0$ или: $f_k \pm w_k = 0$.

Заменяя полное сопротивление поезда W выражением $(w_0 \pm i_k)(P + Q)$, получим:

$$F_k - (w_0 \pm i_k)(P + Q) = 0,$$

откуда получаем вес поезда:

$$P + Q = \frac{F_k}{w_0 + i_k}$$

и значение подъема:

$$i_k = \frac{F_k}{(P + Q)} - w_0 = f_k - w_0.$$

Для получения скорости движения v значения силы тяги и сопротивления должны быть заменены формулами, выражающими их зависимость от v . Эту задачу легче решать графическим способом, как далее и будет указано (§ 40).

Примечание. Для графического интегрирования уравнения движения поезда инж. Боровским построен специальный прибор—интегратор, при помощи которого построение кривых производится механически. Подобный прибор сконструирован также инж. Н. Н. Дегтеревым.

1. Графическое интегрирование уравнения движения поезда по способу Липеца и Лебедева

35. Графическое интегрирование уравнения движения поезда по способу Липеца и Лебедева основано на следующем (черт. 11). Предположим, что зависимость скорости движения от пройденного пути выяснена и она графически изображается кривой $v = \psi(s)$, для которой по оси абсцисс откладываются значения скоростей в масштабе $1 \text{ [км/ч]} \text{ в } m \text{ [мм]}$, а по оси ординат (вниз) значения пройденного пути в масштабе $1 \text{ [км]} \text{ в } n \text{ [мм]}$.

Построим на том же чертеже кривую ускоряющих усилий $(f_k \pm w_k - b_k)$, откладывая по оси абсцисс значения скоростей также в масштабе $1 \text{ [км/ч]} \text{ в } m \text{ [мм]}$, а по оси ординат (вверх) значения $(f_k \pm w_k - b_k)$ в масштабе $1 \text{ [кг/т]} \text{ в } k \text{ [мм]}$.

Возьмем на кривой $(f_k \pm w_k - b_k)$ какую-либо точку A и соответствующую ей проекцию A_1 на кривой $v = \psi(s)$ и проведем через точку A_1 касательную A_1b к кривой $v = \psi(s)$, а точку A_1 соединим лучом AO с началом координат O .

Касательная A_1b образует с осью ординат OS угол δ , тангенс которого

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{dx}{dy} = \frac{dv \text{ [мм]} }{ds \text{ [мм]}}$$

Заменив в этом равенстве ds его значением, получаемым из выражения:

$$v = \frac{ds}{dt}, \text{ т. е.: } ds = v \cdot dt,$$

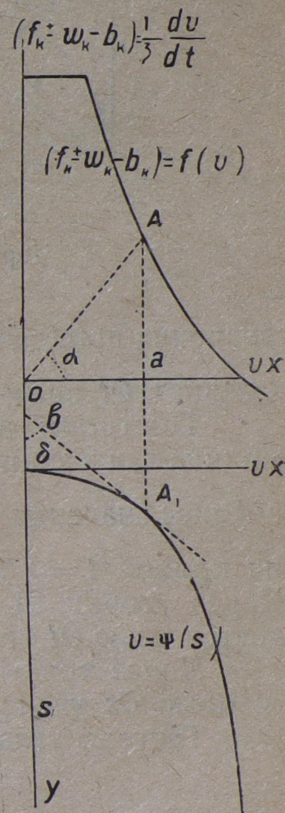
получим:

$$\operatorname{tg} \delta = \frac{dv}{dt} \cdot \frac{1}{v} \left(\frac{m}{n} \right).$$

Луч AO образует с осью Ov угол α , тангенс которого $\operatorname{tg} \alpha = \frac{Aa}{Oa}$, где

$Aa = (f_k \pm w_k - b_k) [к\text{мм}] = \frac{1}{\zeta} \frac{dv}{dt} [к\text{мм}]$ и $Oa = v [м\text{мм}]$; следовательно:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{1}{\zeta} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \frac{1}{v} \left(\frac{k}{m} \right).$$



Черт. 11.

Разделив $\operatorname{tg} \delta$ на $\operatorname{tg} \alpha$, получим:

$$\frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \alpha} = \frac{dv}{dt} \cdot \frac{1}{v} \left(\frac{m}{n} \right) : \frac{1}{\zeta} \cdot \frac{dv}{dt} \cdot \frac{1}{v} \left(\frac{k}{m} \right) = \zeta \left(\frac{m^2}{kn} \right).$$

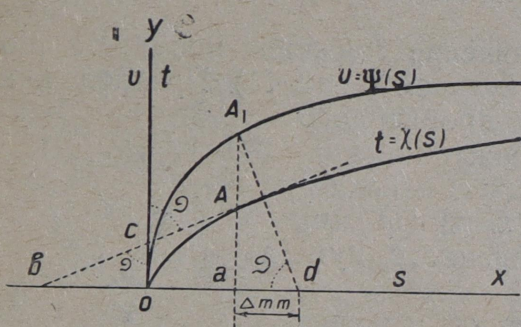
Из этого выражения видно, что отношение между тангенсами является определенной величиной, зависящей только от выбранных масштабов, что дает возможность подобрать масштаб таким образом, чтобы $\operatorname{tg} \delta$ был равен $\operatorname{tg} \alpha$. При этом получим:

$$\frac{\operatorname{tg} \delta}{\operatorname{tg} \alpha} = \zeta \left(\frac{m^2}{kn} \right) = 1,$$

откуда можно получить значение любого из трех масштабов, задаваясь двумя другими масштабами, а именно:

$$n = \frac{\zeta m^2}{k}; \quad k = \frac{\zeta m^2}{n} \quad \text{и} \quad m = \sqrt{\frac{kn}{\zeta}}.$$

Если задаться масштабами, удовлетворяющими указанным соотношениям, то получится: $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \delta$, т. е. касательная к кривой $v = \psi(s)$ будет перпендикулярна лучу AO . Эта зависимость между касательными точками к кривой $v = \psi(s)$ и лучами, соединяющими точки кривой $(f_k \pm w_k - b_k)$ с началом координат, служит основанием для построения кривой $v = \psi(s)$ по кривой $(f_k \pm w_k - b_k)$, как будет показано дальше (§ 36).



Черт. 12.

Предположим также, что выяснена зависимость времени прохода пути от пройденного пути и она графически изображается кривой $t = \chi(s)$ (черт. 12), для которой по оси абсцисс отложены

значения пройденного пути s в масштабе $1 [км]$ в $n = \frac{\zeta m^2}{k} [мм]$, а по оси ординат Ot значения времени t в масштабе $1 [мин.]$ в $x мм$ или $1 [ч]$ в $60 x мм$.

Построим на том же чертеже кривую $v = \psi(s)$, откладывая по оси ординат значения скоростей в том же масштабе $1 [км/ч]$ в $m мм$, а по оси абсцисс значения пройденного пути s в масштабе $1 [км]$ в $n = \frac{\zeta m^2}{k} мм$. Возьмем на кривой $t = \chi(s)$ точку A и на кривой $v = \psi(s)$ проекцию ее — точку A_1 . Через точку A проведем касательную AB к кривой $t = \chi(s)$, которая образует с осью Ot угол $\angle Act = \angle \vartheta$.

Через точку A_1 проведем прямую линию $A_1d \perp Ab$, которая образует с осью Os угол $\angle A_1dO = \angle Act = \angle \vartheta$.

Тангенс угла Act равняется:

$$\operatorname{tg} \angle Act = \operatorname{tg} \vartheta = \frac{dx}{dy} = \frac{ds \left(\frac{\zeta m^2}{k} мм \right)}{dt [60x мм]} = v \left(\frac{\zeta m^2}{60x \cdot k} \right).$$

Из треугольника A_1ad получаем: $ad = \Delta мм = \frac{A_1a}{\operatorname{tg} \vartheta}$.

Ордината A_1a соответствует скорости v , взятой в масштабе $1 [км/ч] = m мм$, а $\operatorname{tg} \vartheta = v \left(\frac{\zeta m^2}{60x \cdot k} \right)$. Подставляя эти значения в выражение Δ , получим:

$$\Delta = \frac{v(m)}{v \left(\frac{\zeta m^2}{60x \cdot k} \right)} = \left(\frac{60x \cdot k}{\zeta \cdot m} \right),$$

откуда масштаб времени:

$$x = \frac{\zeta \Delta t}{60 \cdot k}.$$

Полученная зависимость служит основанием для построения кривой $t = \chi(s)$ по кривой $v = \psi(s)$.

36. Указанными свойствами кривых $v = \psi(s)$ и $t = \chi(s)$ воспользовались: Липец — для графического определения зависимости $v = \psi(s)$ и Лебедев — для графического определения зависимости $t = \chi(s)$. Оба способа могут быть соединены вместе и все построение может быть проведено в следующем порядке (черт. 13).

1) Определяются значения ζ , f_k , w_k и $b_k = 1000 \varphi_k^2$ для различных скоростей.

2) Задаются масштабы: ускоряющих усилий: $(f_k \pm w_k - b_k) - 1$ [кг/м] в k мм и скоростей: $v - 1$ [км/ч] в t мм и длина отрезка: $\Delta - \Delta$ мм и определяются масштабы: пути $s: 1$ [км] в $n = \frac{\zeta \cdot m^2}{k}$ мм и времени $t: 1$ [м] в $x = \frac{\zeta \Delta t}{60k}$ мм.

Как примерные, приводятся следующие значения масштабов.

Таблица 11

М а с ш т а б ы	Для общих расчетов		Для тормозных задач	
	для пассажирск. поездов	для товарных поездов	для пассажирск. поездов	для товарн. поездов
Ускоряющих усилий $(f_k \pm w_k - b_k) - 1$ кг/м в k мм	10	10	10	10
Скорости $v - 1$ км/ч в t мм	1,5	1,5	4	2,5
Отрезка $\Delta - \Delta$ мм	50	30	—	—
Пути $s - 1$ мм в $n = \frac{\zeta m^2}{k}$ мм	27	27	192	75
Времени $t - 1$ (мин.) в $x = \frac{\zeta t \Delta}{60k}$ мм	15	9	—	—

3) Строится кривая $(f_k \pm w_k - b_k) = f(v)$, при чем по оси абсцисс влево от начала координат O откладываются значения $(f_k \pm w_k - b_k)$, а по оси ординат вверх от начала координат откладываются значения v .

4) Полученная диаграмма делится горизонтальными прямыми на ряд элементов (I, II, III). Горизонтальные прямые 1, 2, 3..., делящие диаграмму на ряд элементов, продолжают за ось OY вправо.

5) Из начала координат O проводятся лучи (Oa_1, Oa_2, \dots) в каждом элементе к точкам a_1, a_2, \dots , лежащим на кривой $(f_k \pm w_k - b_k) = f(v)$ и делящим отрезки этой кривой в пределах каждого элемента пополам.

Эти лучи соответствуют лучу OA (черт. 11) и углы, образованные ими с осью Ov , соответствуют углу α (черт. 11).

6) Вправо от оси OY проводится вторая ось O_1Y_1 . Точка O_1 служит началом координат для построения кривой $v = \psi(s)$, при чем по оси O_1X_1 вправо от начала координат откладываются значения s и по оси OY_1 вверх от начала координат — значения v и t .

7) Через точку O_1 проводится линия $OB \perp Oa_1$, до точки B — пересечения этой линии с горизонтальной прямой 1, делящей диаграмму на элементы; от точки B проводится прямая $BC \perp Oa_2$ до точки C — пересечения этой прямой со следующей горизонтальной прямой 2 и т. д.

Полученные отрезки ломаной линии O_1BC соответствуют касательной Ab (черт. 11). В пределе ломаная линия O_1BC соответствует кривой $v = \psi(s)$. Построение будет тем точнее, чем меньше будет взята ширина элементов.

8) Диаграмма кривой O_1BC делится вертикальными линиями $1', 2' \dots$ на ряд элементов $I, II, III \dots$.

9) Влево от оси O_1Y_1 в расстоянии Δ мм от нее проводится линия $AA_1 \parallel O_1Y_1$, которая горизонтальными линиями 1, 2... разделяется на отрезки, соответствующие элементам $I, II \dots$ кривой $v = \psi(s)$. Средние точки $a'_1, a'_2, a'_3 \dots$ отрезков прямой AA_1 соединяются с точкой O_1 прямыми $O_1a'_1, O_1a'_2 \dots$.

Лучи $O_1a'_1, O_1a'_2 \dots$ соответствуют прямой A_1d (черт. 12), а углы, образованные этими лучами с осью O_1x , соответствуют углу ϑ (черт. 12).

10) Через точку O_1 проводится линия $O_1B_1 \perp O_1a'_1$ до точки B_1 — пересечения прямой O_1B_1 с первой вертикальной линией $1'$, делящей диаграмму $v = \psi(s)$ на элементы; от точки B_1 проводится линия $B_1C_1 \perp O_1a'_2$ до точки C_1 — пересечения прямой B_1C_1 со второй вертикальной прямой $2'$ и т. д.

Полученные отрезки $O_1B_1, B_1C_1 \dots$ соответствуют касательной Ab (черт. 12). В пределе ломаная линия $O_1B_1C_1$ соответствует кривой $t = \chi(s)$.

Для любой точки N , соответствующей длине пройденного пути s , скорость выразится ординатой NN_1 точки N_1 , лежащей на кривой $v = \psi(s)$ (взятой в соответствующем масштабе), а время t , потребное для прохода этого пути, выразится ординатой NN_2 точки N_2 , лежащей на кривой $t = \chi(s)$ (взятой в соответствующем масштабе).

Элементарный вывод построения кривых $v = \psi(s)$ и $t = \chi(s)$ по способу Липеца и Лебедева

37. Предположим, что зависимость скорости движения от пройденного пути определена и выражается кривой $v = \psi(s)$ (черт. 14), для которой скорость v откладывается по оси абсцисс в масштабе 1 км/ч в m мм, а пройденный путь s — по оси ординат в масштабе 1 км в n мм. Построим на этой же диаграмме кривую ускоряющих усилий $(f_k \pm w_k - b_k)$ для которой скорости v также откладываются по оси абсцисс в масштабе 1 км/ч в m мм, а ускоряющие усилия $(f_k \pm w_k - b_k)$ по оси ординат в масштабе 1 кг/т в k мм.

Из уравнения движения поезда (см. § 32) $c = \left(\frac{dv}{dt}\right) = \zeta(f_k \pm w_k - b_k)$ видно, что отно-

шение значений ускорений и ускоряющих усилий $\frac{\left(\frac{dv}{dt}\right)}{(f_k \pm w_k - b_k)} = \zeta$ есть величина постоян-

ная, следовательно, ускорение $c = \left(\frac{dv}{dt}\right)$ на диаграмме может измеряться теми же ординатами,

что и $(f_k \pm w_k - b_k)$, но в другом масштабе. Так как $c = \left(\frac{dv}{dt}\right)$ в ζ раз больше $(f_k \pm w_k - b_k)$,

то при измерении ускорения масштаб нужно соответственно изменить, взяв 1 км/ч^2 в $l = \frac{k}{\zeta}$ мм.

Как видно из диаграммы, ускорение поезда есть величина переменная. Если взять весьма малые промежутки времени, то с достаточной степенью точности для практических целей можно допустить, что ускорение в течение этих промежутков времени остается постоянным, — средним между действительными начальным и конечным его значениями для этих промежутков

времени, а скорость будет меняться равномерно. При этом предположении кривая $c = \left(\frac{dv}{dt}\right)$

или $(f_k \pm w_k - b_k)$ примет вид ломаной ступенчатой линии 1-2-3-4..., а кривая $v = \psi(s)$ вид ломаной 1-2... (черт. 14).

В пределах какого либо промежутка времени соотношение между начальной скоростью v_0 , конечной скоростью v_1 , ускорением c и пройденным путем s будет выражаться равенствами:

$$v_1 = v_0 + ct \quad (I)$$

и

$$s = v_0 t + \frac{ct^2}{2} \quad (II)$$

Определив из уравнения (I) t и подставив его во второе, получим:

$$\begin{aligned} t &= \frac{v_1 - v_0}{c} \quad \text{и:} \quad s = v_0 t + \frac{ct^2}{2} = v_0 \frac{v_1 - v_0}{c} + \\ &+ c \frac{(v_1 - v_0)^2}{2c^2} = \frac{(2v_0 + v_1 - v_0)(v_1 - v_0)}{2c} = \\ &= \frac{(v_0 + v_1)(v_1 - v_0)}{2c} \quad (III) \end{aligned}$$

Из черт. (14) видно, что $\frac{v_0 + v_1}{2}$ измеряется

отрезком $\frac{\overline{Oc} + \overline{Ob}}{2} = \overline{Oa}$ в масштабе $1 \text{ км/ч} = m \text{ мм}$,

т. е.: $\frac{v_0 + v_1}{2} = \frac{\overline{Oa}}{[m]}$; $c = \left(\frac{dv}{dt}\right)$ измеряется ординатой Aa в масштабе:

$1 [кг/м] = \left[\frac{k}{\zeta}\right] \text{ мм}$, т. е. $c = \frac{\overline{Aa}}{\left[\frac{k}{\zeta}\right]}$ и $v_1 - v_0$ измеряется

отрезками bc или c_1c_3 в масштабе $1 [км/ч] = m \text{ мм}$,

т. е.: $(v_1 - v_0) = \frac{\overline{bc}}{[m]} = \frac{\overline{c_1c_3}}{[m]}$.

Подставив полученные геометрические выражения скоростей и ускорения в уравнение (III), получим:

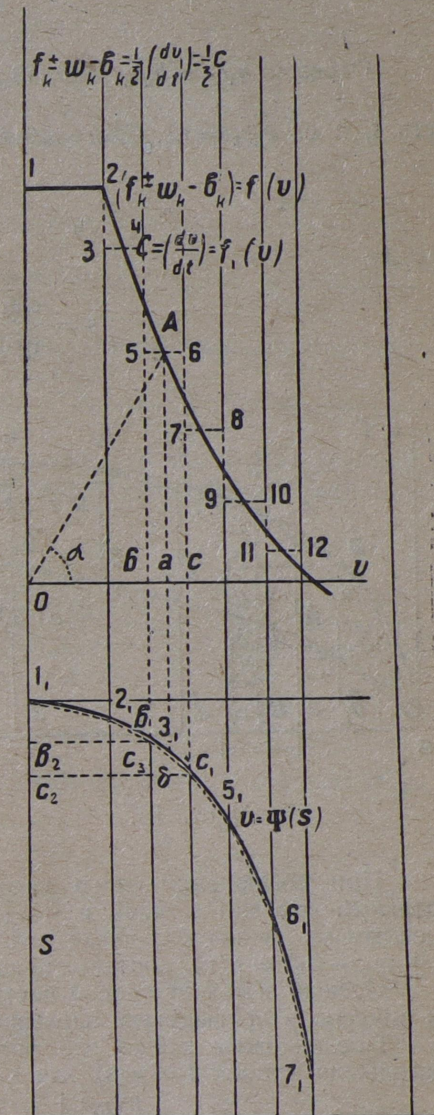
$$s = \frac{\overline{Oa}}{[m]} \cdot \frac{\overline{c_1c_3}}{[m]} = \frac{\overline{Oa} \cdot \overline{c_1c_3}}{\overline{Aa}} \left[\frac{k}{\zeta m^2} \right] \quad (IV)$$

Соединим точку A с началом координат O ; луч OA образует с осью On угол $\angle AOn = \alpha$.

Из треугольника AOa имеем соотношение: $\overline{Aa} = \overline{Oa} \cdot \operatorname{tg} \alpha$, или $\frac{\overline{Oa}}{\overline{Aa}} = \frac{1}{\operatorname{tg} \alpha}$. Подставив это

значение $\frac{\overline{Oa}}{\overline{Aa}}$ в уравнение (IV), получим:

$$s = \frac{\overline{c_1c_3}}{\operatorname{tg} \alpha} \left[\frac{k}{\zeta m^2} \right],$$



Черт. 14.

откуда:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{c_1 c_3}}{s} \left[\frac{k}{\zeta m^2} \right].$$

Из треугольника $b_1 c_1 c_3$ диаграммы $v = \psi(s)$ имеем:

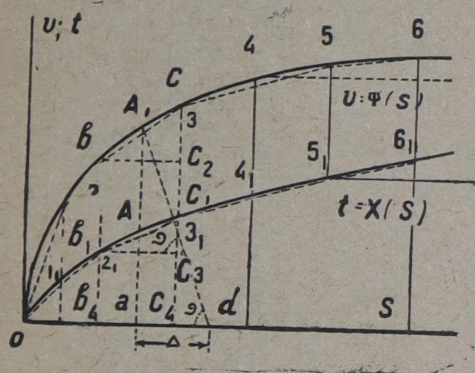
$$\overline{b_1 c_3} = \frac{\overline{c_1 c_3}}{\operatorname{tg} \angle c_1 b_1 c_3} = \frac{\overline{c_1 c_3}}{\operatorname{tg} \delta}. \quad (V)$$

Отрезок $\overline{b_1 c_3} = \overline{b_2 c_2}$, взятый в масштабе $n \text{ мм} = 1 [\text{км}]$ представляет собой пройденный путь s , т. е.: $\overline{b_1 c_3} = ns$. Следовательно:

$$ns = \frac{\overline{c_1 c_3}}{\operatorname{tg} \delta},$$

откуда:

$$s = \frac{\overline{c_1 c_3}}{\operatorname{tg} \delta} \left[\frac{1}{n} \right], \text{ или; } \operatorname{tg} \delta = \frac{\overline{c_1 c_3}}{s} \left[\frac{1}{n} \right].$$



Черт. 15.

Сравнивая значения $\operatorname{tg} \alpha$ и $\operatorname{tg} \delta$, видим, что они отличаются только множителями $\left[\frac{k}{\zeta m} \right]$

и $\left[\frac{1}{n} \right]$, в которые входят лишь значения масштабов. Эти значения могут быть выбраны произвольно, следовательно, они могут быть подобраны так, чтобы $\operatorname{tg} \alpha$ был равен $\operatorname{tg} \delta$; для этого

$$\text{должно быть выполнено условие: } \operatorname{tg} \alpha = \frac{\overline{c_1 c_3}}{s} \left[\frac{k}{\zeta m^2} \right] = \operatorname{tg} \delta = \frac{\overline{c_1 c_3}}{s} \left[\frac{1}{n} \right], \text{ откуда;}$$

$$\left[\frac{k}{\zeta m^2} \right] = \left[\frac{1}{n} \right] \text{ и масштаб пути } [n] = \left[\frac{\zeta m^2}{k} \right].$$

При соблюдении этого условия получим $\operatorname{tg} \alpha = \operatorname{tg} \delta$, следовательно: $b_1 c_1 \perp OA$, т. е. отдельные отрезки кривой $v = \psi(s)$ будут перпендикулярны соответствующим лучам, проведенным из начала координат диаграммы $(f_k \pm w_k - b_k) = f(v)$ к серединам отрезков кривой $(f_k \pm w_k - b_k) = f(v)$, соответствующим отрезкам кривой $v = \psi(s)$.

Отсюда вытекает способ построения кривой $v = \psi(s)$ по кривой $(f_k \pm w_k - b_k) = f(v)$, как описано в предыдущем параграфе (§ 36).

Предположим также, что определена зависимость времени хода от пройденного пути и выражена кривой $t = \chi(s)$, для которой пройденный путь s откладывается по оси абсцисс в масштабе $1 [\text{км}]$ в $[n] = \left[\frac{\zeta m^2}{k} \right] \text{ мм}$, а время — по оси ординат в масштабе 1 (минута) в $x \text{ мм}$ или 1 [ч] в $60x$ (черт. 15). Построим на той же диаграмме кривую $v = \psi(s)$, для которой пройденный путь также откладывается по оси абсцисс в масштабе $1 [\text{км}]$ в $[n] \text{ мм} = \left[\frac{\zeta m^2}{k} \right] \text{ мм}$, а скорость по оси ординат в масштабе 1 км/ч в $m \text{ мм}$.

По предыдущему предположим, что в достаточно малые промежутки времени скорость и приращение времени изменяются равномерно. В этом случае кривая $v = \psi(s)$ примет вид ломаной линии $0-1-2\dots$, а кривая $t = \chi(s)$ — вид ломаной линии $0-1-2\dots$.

В пределах какого-либо промежутка времени будем иметь соотношения между начальной скоростью движения v_0 , конечной скоростью v_1 , пройденным путем s и временем хода t :

$$s = \frac{v_0 + v_1}{2} t \quad (VI)$$

Из чертежа видно, что пройденный путь s выражается отрезком $\overline{b_4 c_4} = \overline{b_1 c_3}$, взятым в масштабе $n \text{ мм} = \left[\frac{\zeta m^2}{k} \right] \text{ мм} = 1 \text{ км}$, т. е. $s = \frac{\overline{b_1 b_3}}{\left[\frac{\zeta m^2}{k} \right]}$. Величина средней скорости $\frac{v_0 + v_1}{2}$.

выражается ординатой $\overline{A_1a} = \frac{\overline{bb_4} + \overline{cc_4}}{2}$, взятой в масштабе $m \text{ мм} = 1 \text{ км/ч}$, т. е. $\frac{v_1 + v_2}{2} = \frac{\overline{A_1a}}{[m]}$. Время t выражается отрезком ординаты $\overline{c_1c_3} = (\overline{c_1c_4} - \overline{c_3c_4}) = (\overline{c_1c_4} - \overline{b_1b_4})$, взятым в масштабе 1 (час) в $60x \text{ мм}$, т. е. $t = \frac{\overline{c_1c_3}}{(60x)}$.

Подставив указанные значения в выражение (VI), получим:

$$\frac{\frac{\overline{c_1c_3}}{[k]}}{\frac{\overline{A_1a}}{(m)}} = \frac{\overline{c_1c_3}}{(m)} \cdot \frac{\overline{c_1c_3}}{(60x)}, \text{ откуда: } \overline{A_1a} = \frac{\overline{b_1c_3}}{\overline{c_1c_3}} \left[\frac{k \cdot 60mx}{\zeta m^2} \right] = \frac{\overline{b_1c_3}}{\overline{c_1c_3}} \left[\frac{60k \cdot x}{\zeta m} \right].$$

Из треугольника $b_1c_1c_3$ имеем: $\frac{\overline{b_1c_3}}{\overline{c_1c_3}} = \operatorname{tg} \angle b_1c_1c_3 = \operatorname{tg} \vartheta$, следовательно: $\overline{A_1a} = \operatorname{tg} \vartheta \left[\frac{60k \cdot x}{\zeta m} \right]$.

Проведем из точки A_1 прямую $A_1d \perp b_1c_1$, которая образует с осью Os угол $\angle Ada = \angle b_1c_1c_3 = \vartheta$. Длина отрезка оси абсцисс ad равна $\Delta \text{ мм}$.

Из треугольника A_1da получим: $\overline{A_1a} = \Delta \cdot \operatorname{tg} \vartheta$. Приравнявая это значение $\overline{A_1a}$ полученному ранее, получаем: $\overline{A_1a} = \Delta \cdot \operatorname{tg} \vartheta = \operatorname{tg} \vartheta \left[\frac{60k \cdot x}{\zeta m} \right]$ или: $\Delta = \left[\frac{60k \cdot x}{\zeta m} \right]$. Это выражение представляет собою соотношение масштабов, которое должно быть принято, чтобы приведенные выше рассуждения были справедливы. Из этого соотношения получаем значение масштаба времени $[x] = \left[\frac{\zeta \Delta m}{60 \cdot k} \right] \text{ мм}$.

Если мы при таком соотношении масштабов опустим из какой-либо точки A_1 кривой $v = \psi(s)$, соответствующей средине отрезка bc , перпендикуляр A_1a на ось Os и отложим от основания перпендикуляра по оси Os отрезок Δ , то отрезок b_1c_1 кривой $t = \chi(s)$, соответствующий отрезку bc , будет перпендикулярен линии A_1d , соединяющей взятую на кривой $v = \psi(s)$ точку A_1 с концом отрезка Δ на оси абсцисс. Отсюда вытекает способ построения кривой $t = \chi(s)$ по кривой $v = \psi(s)$, как описано в предыдущем параграфе (§ 36).

2. Графическое интегрирование уравнения движения поезда по способу Н. Н. Дегтерева ¹⁾

38. В этом способе, так же, как в способе Липца, предполагается, что в течение некоторого промежутка времени поезд движется равноускоренно (или равнозамедленно), т. е. принимается, что в уравнении движения $\frac{dv}{dt} = \zeta(f_k \pm w_k - b_k)$ ускорение в течение некоторого промежутка времени остается постоянным, равным среднему значению за этот промежуток времени.

При этом способе промежутки времени принимаются одинаковыми, — равными принятой единице времени (одной минуте).

При таком допущении будут иметь место равенства:

$$v_1 = v_0 + ct \tag{I}$$

$$s = v_0 t + \frac{ct^2}{2} \tag{II}$$

$$s = \frac{v_0 + v_1}{2} t, \tag{III}$$

где v_0 — начальная и v_1 — конечная скорости в рассматриваемом промежутке времени, s — пройденный путь, c — ускорение и t — промежуток времени.

Если принять t равным единице, то соответственно получим:

$$v_1 = v_0 + c \tag{I-a}$$

$$s = v_0 + \frac{c}{2} \tag{II-a}$$

¹⁾ Подобный способ построения кривой $v = \psi(s)$ одновременно с Н. Н. Дегтеревым был предложен в Германии Мюллером.

$$s = \frac{v_0 + v_1}{2} \quad (\text{III-a})$$

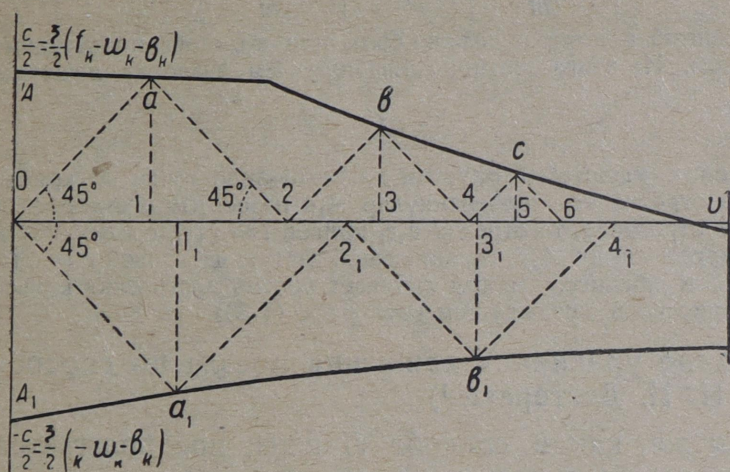
В этих выражениях s есть среднее значение для ускорений в течение рассматриваемого промежутка времени. Из уравнения $\left(\frac{dv}{dt}\right) = c = \zeta(f_k \pm w_k - b_k)$ видно, что ускорение c может быть измерено ординатами кривой $(f_k \pm w_k - b_k)$, взятыми в соответственно измененном масштабе.

Значения ζ и v обычно измеряются в километрах и часах. При расчете по способу Н. Н. Дегтерева удобнее брать измерителем метр и минуту, поэтому ζ и v нужно выразить в этой системе единиц, а именно: принимая $\zeta = 120 \text{ км/ч}^2$, получим:

$$\xi \left[\frac{\text{м}}{\text{мин.}^2} \right] = \frac{120 \cdot 1000}{60 \cdot 60} = 33, (3);$$

и

$$v \text{ м/мин} = v \frac{1000}{60} \text{ км/ч} = 16, (6) v \text{ км/ч.}$$



Черт. 16.

Построим кривую половинных значений ускорений, т. е. значений:

$$\frac{c}{2} = \frac{\zeta}{2} (f_k \pm w_k - b_k) = \frac{33, (3)}{2} (f \pm w - b) = 16,$$

(6) $(f_k \pm w_k - b_k)$, откладывая по оси абсцисс значения v в масштабе 1 м/мин. в $t \text{ мм}$, а по оси ординат значения $\frac{c}{2}$ в масштабе 1 м/мин^2 в $p \text{ мм}$ (черт. 16).

Проведем из точки O — начала координат — прямую Oa под углом 45°

к оси Ov до точки a , — пересечения ее с кривой $\frac{c}{2}$. Из точки a проведем прямую $a2$, образующую угол в 45° в ось Ov , до точки 2 — пересечения ее с этой осью. Далее таким же порядком будем проводить прямые под углами в 45° к оси Ov между осью Ov и кривой $\frac{c}{2}$.

Из точек a, b, c, \dots — пересечения проведенных прямых с кривой $\frac{c}{2}$ — опустим перпендикуляры на ось Ov : $a1, b3, c5, \dots$. Получается ряд треугольников $Oa2, 2b4, 4c6, \dots$, в которых высоты $a1, b3, c5, \dots$ представляют собой значения $\frac{c}{2}$, взятые в заданном масштабе, а основания $02, 24, 46, \dots$ — значения c , взятые в том же масштабе.

Из уравнения (I-a) имеем: $v_1 = v_0 + c$. В начале движения $v_0 = 0$, следовательно, к концу первого периода времени (первой минуты) $v_1 = v_0 + c = 0 + c = c$.

Из вышесказанного следует, что скорость в конце первого периода может быть измерена длиной основания первого треугольника $\overline{O2}$ в соответствующем масштабе. Этот же отрезок $\overline{O2}$ соответствует значению c , взятому в соответствующем масштабе, т. е. $\overline{O2} = c p \text{ м/мин}^2 \cdot = v \cdot t \text{ м/мин.}$, откуда

при $v = c \frac{p}{m} = 1 \text{ мин.}$, т. е. отношение масштабов ускорений и скоростей $\frac{p}{m}$ соответствует измерению принятого промежутка времени (1 мин.).

В конце второго промежутка времени (второй минуты) скорость $v_1 = v_0 + c$ будет измеряться отрезком $\overline{O2} + \overline{24}$, так как $\overline{O2}$ соответствует начальной скорости v_0 , а $\overline{24} = 2 \cdot (36)$ соответствует ускорению во втором промежутке времени. В конце третьего промежутка скорость будет измеряться отрезком $\overline{O6}$ и т. д.

Таким образом, в конце какого-либо промежутка времени скорость будет измеряться отрезком оси Ov от начала координат O до конца основания треугольника, соответствующего промежутку времени (числу минут), т. е. суммой основания всех треугольников до последнего промежутка времени включительно.

Пройденный путь определяется величиной $s = v_0 + \frac{c}{2}$. К концу первого периода получим $s = \frac{c}{2}$, т. е. пройденный путь измеряется отрезком $\overline{O1} = \overline{a1}$ в соответствующем масштабе 1 [м] в n мм, т. е. $\overline{O1} = sn$ [м]. Этим же отрезком измеряется $\frac{c}{2}$ в соответствующем масштабе, т. е. $\overline{O1} = \frac{cp}{2} \text{ м/мин}^2$. Следовательно, $\overline{O1} = sn$ [м] = $\frac{cp}{2} \text{ м/мин}^2$, откуда, имея в виду, что $s = \frac{c}{2}$, получаем: $n = p \frac{1}{\text{мин}^2}$. Выше было получено: $1 \text{ мин.} = \frac{p}{m}$; следовательно:

$$n = p \left(\frac{1}{p^2} \right) = \frac{m^2}{p} \text{ мм, или: } p = \frac{m^2}{n} \text{ мм.}$$

В конце второго периода пройденный путь будет измеряться отрезком $\overline{O3}$, который соответствует значению $s = v_0 + \frac{c}{2}$, при чем v_0 измеряется отрезком $\overline{O2}$, а $\frac{c}{2}$ отрезком $\overline{23} = \overline{b3}$. В конце третьего периода пройденный путь будет измеряться отрезком $\overline{O5}$ и т. д.

Таким образом, пройденный путь к концу какого-либо промежутка времени измеряется отрезком оси абсцисс от начала координат до основания высоты треугольника, соответствующего рассматриваемому периоду времени.

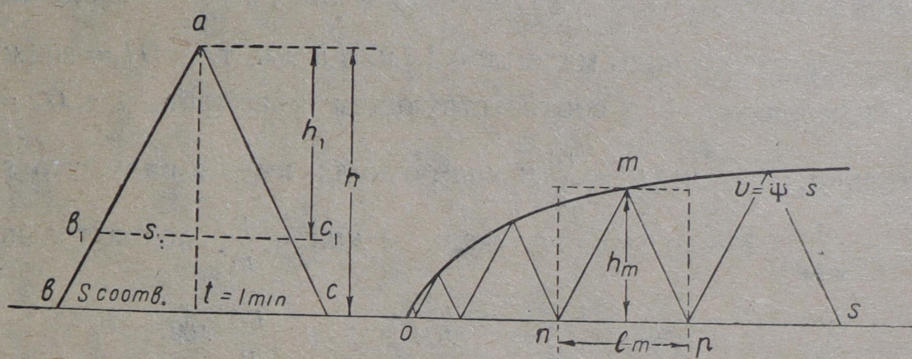
Таким образом, в конце каждого периода времени определяются пройденный путь и скорость. Для построения кривой $v = \psi(s)$ нужно на профиле отложить значения пройденных путей, в конце каждого полученного отрезка восстановить перпендикуляры и на них отложить значения соответствующих скоростей. Соединив полученные точки плавной линией, получим кривую $v = \psi(s)$.

При построении кривых $v = \psi(s)$ более удобно вычертить отдельно кривые $v = \psi(s)$ для различных уклонов для увеличивающихся скоростей и для убывающих скоростей, а также для случая торможения по кривой $\frac{c}{2} = -\zeta(w_k + b_k)$ на прозрачной бумаге (черт. 77, 78 и 79). Чертеж с нанесенными пучками кривых прикладывается к профилю таким образом, чтобы ось Ov совпала с соответствующей линией профиля и начало первого пучка кривых — с начальной точкой профиля. По кривой $v = \psi(s)$, соответствующей уклону профиля, накалываются точки, которые после этого обводятся. Затем чертеж с пучком кривых передвигается параллельно оси ov до тех пор, пока кривая скорости, соответствующая новому уклону профиля (следующего за первым элементом), не совпадет с какой-нибудь точкой с концом

нанесенной на первом элементе профиля кривой. От этой точки опять накальваем точки по соответствующей кривой $v = \psi(s)$ и т. д. Для промежуточных уклонов, для которых кривые $v = \psi(s)$ не построены, точки накальваются между двумя соседними кривыми путем интерполяции.

Если принять масштаб скорости 1 (м/мин.²) в $t = 0,01$ см и масштаб пройденного пути 1 [м] в $p = 0,01$ см, то масштаб ускорения получится 1 [м/мин.²] в $p = \frac{m^2}{n} \text{ мм} = \frac{0,01^2}{0,01} 0,01 \text{ мм} = 0,01 \text{ мм}$.

Предположим, что кривая $v = \psi(s)$ построена (черт. 17) в соответствующем масштабе. Так же, как и при построении этой кривой, примем допущение, что в промежутки времени, принятые за единицу (1 мин.), скорости меняются равномерно. При этом условии путь, проходимый поездом в какой-либо промежуток времени t , составляет: $c = \frac{v_0 + v_1}{2} t$, где v_0 и v_1 — начальная и конечная скорости, а $\frac{v_0 + v_1}{2}$ — средняя скорость движения



Черт. 17.

в течение этого промежутка времени. Если промежутки времени принимать равными, то пути, проходимые поездом в эти промежутки, будут пропорциональны средним скоростям (при $t = 1$ получается $c = \frac{v_0 + v_1}{2}$).

Начертим равнобедренный треугольник abc , высота которого h , измеренная в соответствующем масштабе, соответствует скорости $v = 60 \text{ км/ч.} = 1000 \text{ м/мин.}$, а основание bc , измеренное в масштабе длин, соответствует пути, проходимому в одну минуту при этой скорости движения, т. е.: $s = 1 \text{ км} = 1000 \text{ м}$.

Проведя линию $b_1c_1 \parallel bc$, получим треугольник ab_1c_1 , высота которого h_1 соответствует скорости движения v_1 , а основание b_1c_1 соответствует пути s_1 .

Из подобия треугольников abc и ab_1c_1 имеем: $\frac{b_1c_1}{bc} = \frac{h_1}{h}$, или: $\frac{s_1}{s} = \frac{v_1}{v}$.

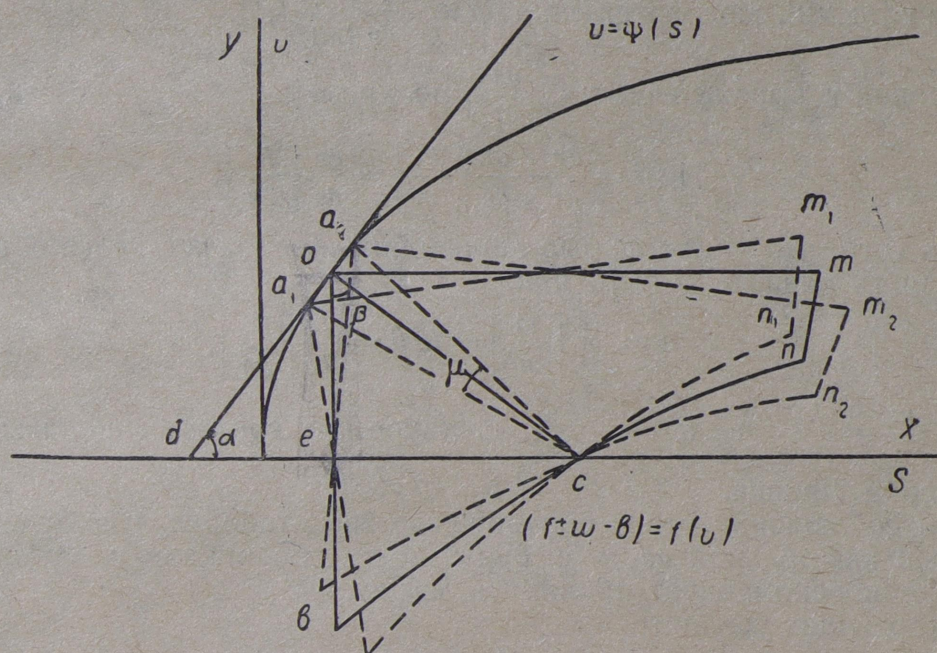
т. е. пути s_1 и s пропорциональны скоростям v_1 и v . Как выше было указано, эта пропорциональность имеет место в тех случаях, когда промежутки времени, в течение которых поезд проходит эти пути, будут равны. Так как путь s соответствует времени 1 мин. при скорости v , то путь s_1 соответствует времени 1 мин. при скорости v_1 . Если перенести треугольник abc на диаграмму $v = \psi(s)$ так, чтобы его вершина совпала с какой-либо точкой m кривой $v = \psi(s)$, а основание было бы параллельно оси ov , и обвести его стороны, то получится треугольник mnp , подобный треугольнику abc .

В этом треугольнике высота h_m соответствует скорости v_m , а основание np — пройденному пути s_m , при чем $\frac{np}{bc} = \frac{h_m}{h}$, или: $\frac{s_m}{s} = \frac{v_m}{v}$, следовательно, промежуток времени, в течение которого поезд проходит путь s_m ,

составляет 1 мин. Отсюда вытекает способ определения времени пробега. Из твердой бумаги нужно вырезать треугольник abc , по которому вычерчивается ряд треугольников на диаграмме $v = \psi(s)$, как показано на чертеже 17. Число треугольников соответствует числу минут.

2. Графическое интегрирование уравнения движения поезда по способу Унрейна

39. На германских железных дорогах применяется способ графического интегрирования движения поездов, предложенный Унрейном, основанный на нижеследующих соображениях.



Черт. 18.

Предположим, что мы имеем кривую $v = \psi(s)$ (черт. 18). Поместим на том же чертеже диаграмму ускоряющих усилий $(f \pm w - b) = \varphi(v)$, вычерченную в определенном масштабе, таким образом, чтобы начало координат приходилось в какой-либо точке a кривой $v = \psi(s)$; ось ординат по которой отложены значения $(f \pm w - b)$, была бы параллельна оси OX диаграммы $v = \psi(s)$ и направлена вправо и ось абсцисс, по которой отложены значения v , была бы параллельна оси OY диаграммы $v = \psi(s)$ и направлена вниз. Кривая $(f \pm w - b) = \varphi(v)$ пересекает ось OX в точке C . Предположим, что масштабы выбраны таким образом, что луч ac является нормалью кривой $v = \psi(s)$, т. е. он перпендикулярен к касательной проведенной к кривой $v = \psi(s)$, проведенной через точку a . В этом случае $\angle eac = \angle adx$.

Предположим, что приняты следующие масштабы:

ускоряющих усилий $(f \pm w - b)$ кг/т 1 [кг/т] в k мм;
 скорости движения v км/ч. 1 [км/ч] в t мм;
 пути s км 1 [км] в n мм.

Так как $\frac{dv}{dt} = \zeta(f \pm w - b)$, то очевидно, что ординатами кривой $(f \pm w - b)$ могут быть измерены значения ускорения поезда, но в масштабе 1 [км/ч.]

$$B \frac{k}{\zeta} MM.$$

Так как ad — касательная к кривой $v = \psi(s)$, то $\operatorname{tg} \angle adx = \operatorname{tg} \alpha = \frac{dy}{dx} = \frac{dv[m]}{ds[n]}$.

Из треугольника aec имеем: $\operatorname{tg} \angle aec = \operatorname{tg} \beta = \frac{ec}{ea}$; но отрезок ec соответствует величине $(f \pm w - b) [к мм] = \frac{dv}{dt} \frac{k}{\zeta} мм$, а отрезок ea соответствует величине $v [т мм]$; следовательно: $\operatorname{tg} \beta = \frac{\frac{dv}{dt} \left[\frac{k}{\zeta} \right]}{v [m]}$.

Заменив v выражением $v = \frac{ds}{dt}$, получим:

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{dv}{dt} \cdot \frac{dt}{ds} \left[\frac{k}{\zeta m} \right] = \frac{dv}{ds} \left[\frac{k}{\zeta m} \right].$$

Для того, чтобы луч ac был перпендикулярен к касательной ad , угол α должен быть равным углу β , или:

$$\operatorname{tg} \alpha = \frac{dv}{ds} \left[\frac{m}{n} \right] = \operatorname{tg} \beta = \frac{dv}{ds} \left[\frac{k}{\zeta m} \right],$$

откуда: $\frac{m}{n} = \frac{k}{\zeta m}$ и $n = \frac{\zeta m^2}{k}$, т. е. такое же соотношение, какое имеем при способе Липеца.

При соблюдении этого соотношения масштабов луч ac будет перпендикулярен касательной ad , т. е. будет нормалью кривой $v = \psi(s)$.

Унрейн рекомендует принимать масштабы:
ускоряющих усилий:

$$(f \pm w - b) \text{ кг/т } 1 \text{ кг/т в } k \text{ мм} = 6 \text{ мм};$$

скоростей:

$$v \text{ 1 км/ч. в } t \text{ мм} = 1 \text{ мм}$$

и масштаб пути:

$$s \text{ 1 км в } \frac{\zeta m^2}{k} = \frac{120 \cdot 1}{6} = 20 \text{ мм}.$$

Повернем диаграмму ускоряющих усилий около точки C , как около центра, на произвольный малый угол $\frac{\mu}{2}$ в сторону по часовой стрелке и против часовой стрелки. Тогда точка a опишет дугу a_1a_2 . При бесконечно-малом угле μ бесконечно-малая дуга a_1a_2 , описываемая конечной точкой a нормали ca , совпадет с касательной к кривой $v = \psi(s)$, а следовательно, и с отрезком кривой $v = \psi(s)$. При конечной, но незначительной величине угла можно считать, что дуга a_1a_2 , описываемая конечной точкой a нормали ca , совпадает с отрезком кривой $v = \psi(v)$, при чем точность совпадения может быть вполне достаточной для практических целей.

Этим свойством Унрейн воспользовался для построения кривой $v = \psi(s)$. Предлагаемый им способ заключается в следующем (черт. 19 и 20). Выбираются масштабы ускоряющих усилий, скорость движения и пути, как указано выше. В выбранном масштабе на листе бумаги по оси абсцисс откладываются длины элементов профиля, по которому производится расчет. На отдельном листе бумаги (удобнее на прозрачной кальке) вычерчиваются диаграммы ускоряющих и замедляющих усилий, также в выбранном масштабе. На этой же диаграмме проводятся две линии pq и rs , составляю-

4. Решение уравнения движения поезда графическим способом при установившихся скоростях движения

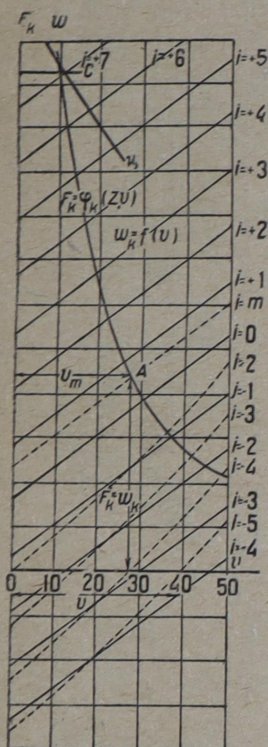
При установившейся скорости движения уравнение движения поезда имеет вид: $F_k \pm W_k - B_k = 0$, или: $f_k \pm w_k - b_k = 0$, а при отсутствии торможения: $F_k \pm W_k = F_k - W_0 \pm i_k(PQ)$, или:

$$f_k \pm w_k = f_k - w_0 \pm i_k = 0.$$

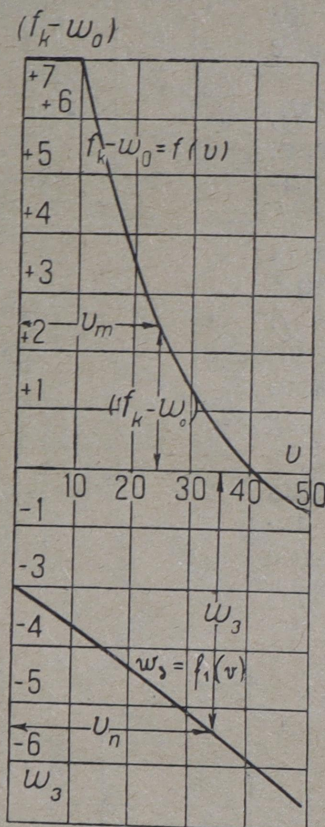
Графическое решение уравнений заключается в определении скорости v при которой $F_k = W_0 \pm i_k(PQ)$, или $f_k = w_0 \pm i_k$.

Для этого на диаграмме наносится кривая $F_k = \varphi_k(z, v)$ и кривые $[W_0 \pm i_k(P + Q)] = f(v)$ (черт. 21). Так как сила тяги измеряется ординатами кривой $F = f(v)$, а сопротивление — ординатами кривых $[W_0 \pm i_k(P + Q)] = f(v)$, то очевидно, что уравнение $F_k = W_0 \pm i_k(P + Q)$ обращается в тождество, т. е. сила тяги будет равна сопротивлению поезда в тех случаях, когда кривые силы тяги и сопротивления пересекаются. Ординаты точек пересечения будут выражать одинаковые величины силы тяги и сопротивления. Абсциссы точек пересечения будут выражать скорости движения, при которых будут иметь место указанные равенства.

Кривые сопротивления должны быть построены для различных значений уклонов. Для этого определяются значения сопротивлений для различных скоростей на горизонтальном прямом элементе профиля и строится соответствующая кривая $W_0 = f(v)$. Кривые для различных уклонов будут параллельны или концентричны



Черт. 21.



Черт. 22.

этой кривой и отстоять от нее на величин $\pm i_n(P + Q)$, взятую в определенном масштабе.

Для движения поезда с закрытым регулятором уравнение принимает вид $w_0 \pm i_n(P + Q) = 0$, где w_0 — сопротивление при закрытом регуляторе. Скорости, обращающие это уравнение в тождество, соответствуют абсциссе точки пересечения кривой сопротивления с осью абсцисс. То же самое решение будет и в случае торможения для кривой:

$$W_0 \pm i_k(P + Q) + B_k = f_k(v).$$

Если определены значения ускоряющих усилий $f_k \pm w_0 - b_k$, то для графического решения уравнения $f_k - w_0 \pm i_k - b_k = 0$ строится кривая значений $f_k - w_0 = f(v)$, или $-w_0 = f_1(v)$, или $-w_0 - b_k = f_2(v)$ для случая $i_k = 0$, т. е. при движении поезда по горизонтальному прямому элементу профиля (черт. 22). Абсцисса точки пересечения этой кривой с осью ov будет соответствовать установившейся скорости движения, обращающей уравнение $f_k - w_0 - b_k = 0$ в тождество, на горизонтальном прямом элементе профиля.

Для других уклонов значения ускоряющих усилий будут отличаться на величину $\pm i$, т. е. уклона. Следовательно, для получения значений для других уклонов ординаты кривой $f_k - w_0 - b_k = f(v)$ нужно изменить на величину $\pm i$, взятую в определенном масштабе, что достигается проведением соответствующих дополнительных осей ov_i , параллельных оси ov и отстоящих от них на расстояние $\pm i$. Абсциссы точек пересечения этих осей с кривой $f_k - w_0 - b_k = f(v)$ будут соответствовать установившимся скоростям движения на уклонах $\pm i$.

При построении кривых силы тяги, сопротивления и ускоряющих усилий по этому способу масштабы могут выбираться произвольно.

8. Тормозные задачи

41. При производстве тяговых расчетов предварительно должны быть решены некоторые тормозные задачи, к каковым относятся:

- 1) определение числа тормозов в поезде, соответствующего скорости движения v на определенных уклонах i ;
- 2) определение скорости движения v на определенных уклонах i при определенном числе тормозов;
- 3) определение уклонов i , по которым может следовать поезд со скоростью v при наличии определенного количества тормозов;
- 4) определение длины тормозного пути s , на котором может быть остановлен поезд, идущий по уклону i со скоростью v , при наличии определенного числа тормозов.

Решение этих задач сводится к решению уравнения движения поезда путем интегрирования. В виду того, что нормально торможение происходит при закрытом регуляторе, т. е. при $f=0$, уравнение движения поезда принимает вид:

$$\frac{dv}{dt} = -\zeta (w_0 \pm i_k \cdot 1000 \varphi_k \vartheta).$$

1. Определение числа тормозов по заданным v , i и s

42. Определение числа тормозов сводится к определению тормозного коэффициента. Если ϑ известно, то из выражения

$$\vartheta = \frac{P_m (нар) \cdot \delta_k (нар) + P_m (менд) \cdot \delta_k (менд) + Q_m \delta_k}{P + Q}$$

определяется расчетный вес тормозных вагонов:

$$Q_m = \frac{\vartheta (P + Q) - P_m (нар) \cdot \delta_k (нар) - P_m (менд) \cdot \delta_k (менд)}{\delta_k}.$$

После этого может быть определено число тормозных вагонов $m_m = \frac{Q_m}{q_m}$,

где q_m — принимаемый при расчетах вес одного тормозного вагона, и процентное отношение числа тормозных вагонов в поезде, равное $\frac{m_m}{m} 100\%$,

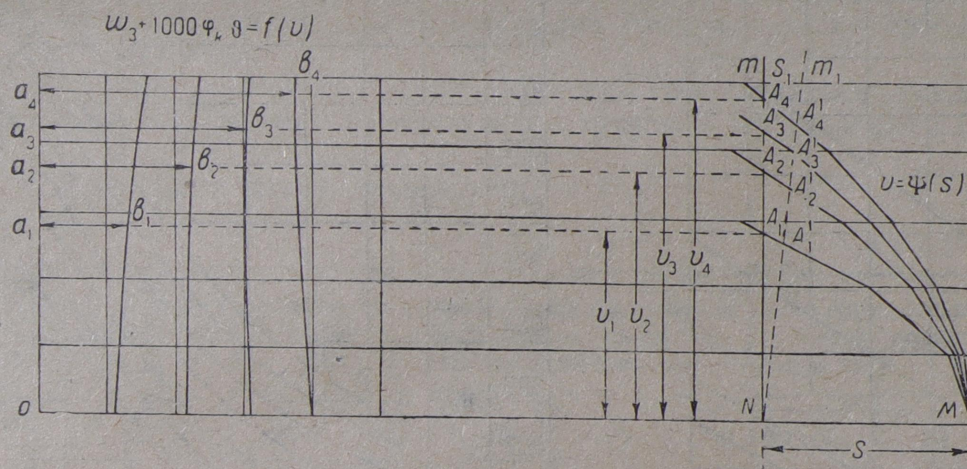
где m — число вагонов в поезде. Общее число вагонов $m = \frac{Q}{q}$, где q — средний вес брутто вагона в поезде.

Для определения ϑ должны быть заданы скорость движения v , уклон i и длина тормозного пути s . Длина тормозного пути задается, в зависимости от местных условий, от 700 до 1200 м.

При этом тормозной путь должен приниматься от момента доведения тормозной силы до половины расчетной до момента полной остановки

При этих условиях, т. е. при определенной скорости v , зависимость между i и ϑ выражается уравнением: $i + m\vartheta + n = 0$, где $m = 1000 \varphi_k$ и $n = w_0 - \frac{ab}{k}$. Полученное уравнение представляет уравнение прямой линии.

1) задаются несколькими значениями ϑ , соответствующими различному количеству тормозов;

$$w_0 + 1\,000\varphi_k\vartheta = 0;$$


4) на кривых $v = \psi(s)$ отыскиваются точки A , соответствующие тормозному пути (заданному), и определяются соответствующие значения v .

Примечание. Если в длину тормозного пути включается также путь, проходимый поездом до доведения тормозной силы до половины расчетной, то эта часть пути при отыскании точки А должна быть исключена, что графически производится следующим образом. От точки N — конца отрезка, соответствующего тормозному пути s , строится линия $s_1 = 0,277vt$, которая представляет собой прямую. Для этого достаточно определить значение s_1 для какой-либо скорости v_m и отложить отрезок mm_1 , соответствующий длине s_1 , от оси Nm . Точки N и m_1 нужно соединить прямою Nm_1 , которая для каждой скорости v будет соответственно определять значения $s_1 = 0,277vt$. Точки пересечения ее с кривыми $v = \psi(s)$ (A'_1, A'_2, A'_3, A'_4) и будут искомыми;

5) измеряются по масштабу (для всех кривых) ординаты \overline{ab} , численная величина которых соответствует значениям: $w_0 + 1000 \varphi_k \vartheta = \frac{ab}{k}$;

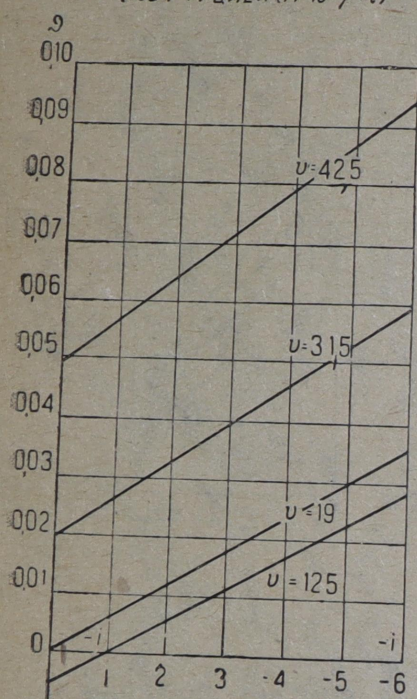
6) соответственно полученным значениям v определяются w_0 и φ_k , которые подставляются в уравнения $w_0 \pm i + 1000 \varphi_k \mathcal{F} = \frac{ab}{k}$. По полученным уравнениям для всех значений v строятся прямые линии, выражающие зависимость i и \mathcal{F} (черт. 25);

7) по ряду построенных прямых $\vartheta = f_1(i)$, соответствующих различным v , строятся кривые $\vartheta = f_{ii}(v)$, соответствующие различным i (черт. 26). Так как

зависимость $\vartheta = f_1(i)$ и $\vartheta = f_2(v)$ получается интегрированием уравнение $\frac{dv}{dt} = \zeta(w_0 \pm i_k + 1000 \varphi_k \vartheta)$, то полученные значения ϑ пригодны для всех возможных составов поездов, имеющих одинаковое удельное сопротивление w_0 для определенного тормозного пути s .

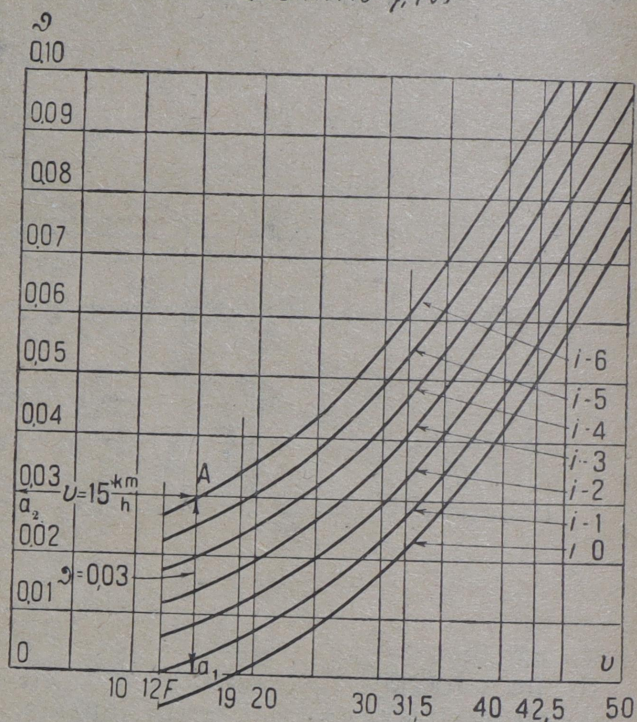
Когда кривые $\vartheta = f_2(v)$ построены для различных уклонов i , определение ϑ сводится к отысканию точки A , абсцисса которой $Aa_2 = Oa_1$ соответствует заданной начальной скорости v (черт. 26). Точка A должна быть взята на кривой, соответствующей заданному уклону i . Ордината $Aa_1 = Oa_2$ точки A определяет значение ϑ для данного уклона i_2 и скорости v .

ДИАГРАММА ЗНАЧЕНИЙ ТОРМОЗНОГО КОЭФФИЦИЕНТА $\vartheta = f_1(i)$



Черт. 25.

ДИАГРАММА ЗНАЧЕНИЙ ТОРМОЗНОГО КОЭФФИЦИЕНТА $\vartheta = f_2(v)$



Черт. 26.

Примечание. Второй способ удобнее в тех случаях, когда нужно определить значение ϑ для различных комбинаций i и v . Если требуется определить значение ϑ для определенного уклона, но для различных скоростей или для определенной скорости, но для различных уклонов, или при определенных уклонах и скоростях для различной длины тормозного пути, то проще пользоваться первым способом.

44. Согласно правилам производства тяговых расчетов НКПС должно приниматься:

1) При исчислении предельных скоростей движения или тормозного коэффициента на спусках следует принимать в расчет тормозную силу от действия тормозных колодок паровоза, тендера и тормозных вагонов. При ручных тормозах при длине состава свыше 150 осей в расчет на остановку поезда должны вводиться, кроме тормозных осей паровоза и тендера, лишь те тормозные оси, которые имеются в пределах 150 головных осей. При непрерывных тормозах при исчислении тормозной силы в расчет следует вводить, кроме тормозных осей паровоза и тендера, не более 80% всех тормозных вагонов в поезде на случай возможных выключений.

2) Наибольшее число тормозных вагонов для проектируемых новых железных дорог принимается:

а) при расчете наибольшей пропускной способности—в 30% числа вагонов, считая, что вагоны будут снабжены автоматическими тормозами.

При этом можно принимать нажатие колодок на бандажи в 0,7 тары вагона для порожних вагонов и в 1,1 тары вагона при груженых вагонах;

б) при расчете на первоначальную пропускную способность — в 16% числа вагонов для товарных поездов и 20% для воинских поездов, считая нажатие колодок на бандаж вагона в 0,7 тары вагонов для порожних вагонов и в 1,1 для груженых вагонов. При этом вагоны должны приниматься двухосными.

На участках с двойной и тройной тягой число тормозных вагонов устанавливается в зависимости от местных условий и экономических соображений.

3) При нормальных условиях работы для расчета тормозной силы при остановках поезда на остановочных пунктах следует принимать в расчет при ручных тормозах только тормоза паровоза и тендера.

4) Число тормозов в поезде должно обеспечивать остановку оторвавшейся части поезда при обратном движении — при условии, что торможение начнется через 30 секунд после остановки оторвавшейся части и начала ее обратного движения.

45. При обыкновенных расчетах можно пользоваться следующими нормами тормозов, взятых из правил технической эксплуатации (таблицы 12, 13 и 14).

1. При автоматическом торможении.

Т а б л и ц а 12

Уклоны (в тысяч- ных)	Количество тонн нажатия тормозных колодок на каждые 100 т веса состава поезда (без паровоза и тендера) при наибольших скоростях движения поезда в пути на перегонах между станциями (километров в час):									
	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65
0	4	4	4	4	4,2	5,8	8,0	10,7	14,2	17,7
1	4	4	4	4	4,5	6,4	8,6	11,4	15,0	18,6
2	4	4	4	4	5,0	6,9	9,1	12,1	15,8	19,5
3	4	4	4	4,2	5,7	7,5	9,8	12,7	16,6	20,5
4	4	4	4	4,8	6,2	8,2	10,5	13,4	17,4	21,4
5	4	4	4,2	5,1	6,7	8,6	11,1	14,1	18,1	22,1
6	4	4	4,5	5,8	7,4	9,2	11,6	14,8	18,9	23,0
7	4	4,2	5,1	6,3	7,9	9,8	12,3	15,5	19,6	—
8	4	4,7	5,6	6,7	8,3	10,4	12,9	16,2	20,5	—
9	4,4	5,2	6,2	7,4	9,0	11,0	13,6	16,9	—	—
10	4,9	5,7	6,7	7,9	9,6	11,5	14,1	17,5	—	—
12	5,8	6,6	7,6	9,0	10,6	12,6	15,4	19,0	—	—
14	6,7	7,6	8,7	10,0	11,5	13,8	16,6	20,4	—	—
16	7,7	8,6	9,8	11,0	12,8	15,0	18,0	—	—	—
18	8,6	9,6	10,8	12,0	13,9	16,1	19,1	—	—	—
20	9,6	10,6	11,7	13,0	15,0	17,3	20,4	—	—	—

Примечания. 1. Таблица 12 составлена из расчета длины тормозного пути в 800 м.

2. При исчислении тормозных осей в поездах, следующих на ручном или смешанном торможении, тормозные оси как паровоза, так и тендера принимаются в расчет.

При этом тормозные оси паровозов серий Е, Щ, Э, Θ и V приравниваются одиннадцати тормозным вагонным осям, а каждая тормозная ось паровозов прочих серий и всех без исключения тендеров принимается за две вагонные тормозные оси. Количество вагонных тормозных осей с ручным торможением в составе поезда, исчисленное по таблице 12, не должно быть менее количества ручных тормозов, исчисленного по таблице 14, обеспечивающих возможность остановки оторвавшейся хвостовой части поезда.

2. При ручном и смешанном торможении.

Т а б л и ц а 13

Уклоны (в тысячных)	Количество тормозных осей, эквивалентных (включая паровозные и тендерные) на каждые 100 т веса поезда при наибольших скоростях движения поезда в пути на перегонах между станциями $v =$ километров в час:								
	10	15	20	25	30	35	40	45	50
0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,7	1,2	1,85	2,3
1	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,95	1,4	2,1	2,6
2	0,5	0,5	0,5	0,5	0,8	1,15	1,7	2,3	3,0
3	0,5	0,5	0,55	0,74	1,0	1,4	1,9	2,55	3,3
4	0,5	0,55	0,85	1,0	1,25	1,6	2,2	2,8	3,6
5	0,65	0,8	1,0	1,25	1,5	1,85	2,4	3,1	3,9
6	0,85	1,0	1,2	1,45	1,7	2,1	2,7	3,4	4,2
7	1,1	1,2	1,4	1,65	1,95	2,4	2,9	3,7	4,5
8	1,25	1,4	1,65	1,9	2,15	2,6	3,2	4,0	4,8
9	1,5	1,6	1,85	2,15	2,4	2,9	3,4	4,2	5,2
10	1,7	1,8	2,1	2,35	2,65	3,1	3,7	4,45	5,3
12	2,1	2,15	2,5	2,8	3,1	3,6	4,15	5,0	5,65
14	2,5	2,7	3,0	3,2	3,6	4,1	4,75	5,5	6,5
16	3,0	3,15	3,5	3,7	4,1	4,6	5,2	6,0	7,1
18	3,4	3,55	3,8	4,1	4,6	5,1	5,8	6,6	—
20	3,8	4,0	4,3	4,6	5,1	5,7	6,25	7,1	—

Примечания. 1. Таблица 13 составлена из расчета тормозного пути в 1 200 м.
2. При смешанном торможении каждую автотормозную ось допускается учитывать за 1,5 эквивалентных тормозных оси.
3. Для пассажирских, воинских и вообще всех людских поездов, следующих на ручных тормозах, количество тормозных осей определяется по таблице 13 и полученное по этой таблице количество тормозных осей увеличивается затем на 25%.
4. При особо затяжных уклонах (от 15 до 20 тысячных) дорогам предоставляется право в зависимости от местных условий увеличивать число действующих тормозов сверх нормы, указанной в таблице 13.
Для уклонов свыше 20 тысячных число тормозов добавляется дорожкою в зависимости от местных условий после опытной проверки и утверждается НКПС.

3. Определение числа тормозов для обеспечения поездов при разрывах поезда от угонки оторвавшей части поезда:

Т а б л и ц а 14

Уклон	Число вагонных тормозных осей (без паровоза и тендера) на каждые 100 тонн веса поезда при уклонах в тысячных:															
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	14	16	18	20
Число тормозов	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,67	0,81	0,96	1,15	1,3	1,65	2,04	2,4	2,8	3,25

2. Определение скорости движения v на уклонах i при заданном числе тормозов и тормозном пути s

46. Скорость движения на уклонах может быть определена или по кривым $\vartheta = f_{\vartheta}(v)$, или путем построения кривой $v = \psi(s)$. В обоих случаях сначала должен быть определен коэффициент ϑ по числу заданных тормозов в поезде. Если кривые $\vartheta = f_{\vartheta}(v)$ построены (черт. 26), то для определения v на кривой, соответствующей заданному уклону i , отыскивается точка А, ордината которой отвечает полученному значению ϑ . Абсцисса Oa_2 точки А

определяет искомую скорость v . Для определения скорости по кривым $v = \psi(s)$ должна быть построена кривая $v = \psi(s)$ (черт. 24) по кривой $w_0 \pm i_k + 1000 \varphi_k \vartheta = f(v)$. На этой кривой должна быть отыскана точка А, соответствующая тормозному пути s (или: $s - s_1 = s - 0,277vt$). Ордината этой точки определяет искомую скорость v . Для обыкновенных расчетов допускается пользоваться нормами, приведенными в „правилах технической эксплуатации“ (таблицы 12, 13 и 14; см § 45).

3. Определение уклонов i , по которым поезд может идти со скоростью v при заданном числе тормозов и тормозном пути s

47. Определение уклонов $\pm i$, на которых поезд при определенном количестве тормозов, следуя со скоростью v , может остановиться на расстоянии s , производится по кривым $\vartheta = f(i)$ (черт. 25). Для этого должно быть определено значение ϑ и на кривой, соответствующей скорости v , должна быть найдена точка, ордината которой соответствует определенному ϑ . Абсцисса этой точки соответствует значению искомого уклона i .

При обыкновенных расчетах можно пользоваться нормами правил технической эксплуатации (табл. 12, 13 и 14; см. § 45).

4. Определение длины тормозного пути

48. Определение длины тормозного пути производится построением кривой $v = \psi(s)$ по способу Липца (черт. 24).

На кривой $v = \psi(s)$ должна быть найдена точка А, ордината которой соответствует заданной скорости v . Абсцисса этой точки соответствует искомой длине тормозного пути s . Эта длина должна быть увеличена на длину пути, проходимого поездом до момента достижения тормозной силы тяги половины расчетной длины, т. е. величины $s = 0,277v$.

9. Определение скорости движения и времени пробега перегонов и расчет пропускной способности

49. Время хода поезда зависит от скорости движения. При установлении скоростей движения необходимо руководствоваться низшим и высшим пределами скоростей. Назшим пределом во время движения поезда по перегону является скорость на руководящем подъеме. Эта скорость должна быть выбрана так, чтобы локомотив по возможности был полностью использован. Этому условию удовлетворяет скорость, соответствующая точке пересечения кривых ограничения силы тяги по котлу, по машине и по сцеплению на диаграмме (черт. 21). Если эти три кривые пересекаются попарно в разных точках, то приходится принимать меньшее из полученных значений скоростей. Скорость на руководящем подъеме должна приниматься не менее $v = 10$ км/ч. для существующих типов паровозов. Как исключение, могут быть допущены меньшие скорости при движении по подъему, более крутому, чем руководящий, когда поезд проходит этот подъем с разгона. В этих случаях допускается в конце подъема скорость $v = 8$ км/ч. Меньшие скорости могут допускаться только при трогании с места и остановках, так как при меньших скоростях вследствие малой живой силы поезда движение его производится толчками и в случае боксования паровоза поезд может совершенно потерять скорость и остановиться.

Для проектируемых железных дорог низшие пределы скоростей на руководящих подъемах следует принимать:

1) При определении пунктов скрещения:

для дорог с руководящими подъемами круче $i = 9$	$v = 10$ км/ч.;
" " " " "	$i = \text{от } 4 \text{ до } 9$ $v = 10$ до 15 км/ч;
" " " " "	до $i = 4$ $v = 15$ " 20 "

- 2) При определении пропускной способности на будущее время:
 для дорог с руководящими подъемами свыше $i = 12$ $v = 10$ км/ч.;
 " " " " " от 9 до 12 $v = 10$ до 12 км/ч.;
 " " " " " от 4 до 8 $v = 12$ " 15 "
 " " " " " до i 4 $v = 15$ " 20 "

Примечание. Новые локомотивы проектируются на более высокие скорости на руководящих подъемах.

Высший предел скорости движения определяется: 1) конструкционной скоростью локомотива, 2) скоростью движения, допускаемой в зависимости от устройства верхнего строения пути и искусственных сооружений дороги, и 3) скоростью, определяемой наличием тормозов.

Первые два ограничения указаны в паспортных книжках паровозов, в приложении к „Правилам технической эксплуатации“ и для некоторых паровозов указаны в таблице 15.

Предельная скорость по тормозам определяется, — как было указано выше, в главе 8 („Решение тормозных задач“).

В отношении товарных поездов „Правилами технической эксплуатации“ предусмотрены еще некоторые ограничения:

1) для поездов, не снабженных автоматическими тормозами, скорость не должна превосходить 50 км/ч.;

2) предельная скорость движения поездов при наличии одного или более подталкивающих паровозов в конце поезда не должна превосходить 50 км/ч.

1. Точный расчет времени пробега методом интегрирования уравнения движения

50. В тех случаях, когда требуется произвести точный расчет времени хода (с точностью до минуты или полуминуты), необходимо применять точные методы интегрирования уравнения движения (способом Липца и Лебедева, описанным в §§ 35, 36 и 37, или Н. Н. Дегтерева, описанным в § 38, или Унрейна, описанным в § 39).

При особой точности подсчетов следует пользоваться кривыми силы тяги, соответствующими различным комбинациям открытия регулятора ϕ и отсечек z (§ 11), учитывая местные условия работы в зависимости от профиля и плана линии и расположения остановочных пунктов. При пользовании кривыми $F_k = \phi_k(z, v)$ для точных расчетов, в особенности на перевалистом профиле, следует принимать во внимание возможность займов из котла.

Примечание. Применение указанных способов описано в конце книги при решении примера.

2. Определение времени пробега по установившейся скорости движения поездов на отдельных элементах профиля (графоаналитический способ)

51. Для проектируемых и строящихся железных дорог, а также во всех случаях, когда не требуется особой точности, допускается производить расчеты в предположении движения поезда по каждому элементу профиля с установившейся скоростью движения поезда. При таком допущении получается следующее (черт. 27).

Предположим, что имеется участок AB , элементы профиля которого выписаны в нижней строчке диаграммы. Действительное изменение скорости при движении по участку AB представляется верхней кривой $v = \psi(s)$.

Нижняя кривая $\frac{60}{v} \cdot s = (s)$ представляет собой изменение величин $\frac{60}{v}$, т. е. времени (в минутах) прохода одного километра. Площадь, заключен-

Таблица 15
СТАНДАРТНЫЕ ПРЕДЕЛЬНЫЕ СКОРОСТИ ПАРОВОЗОВ В ЗАВИСИМОСТИ ОТ ТИПОВ РЕЛЬСОВ

Типы рельсов	С Е Р И И П А Р О В О З О В																											
	п а с с а ж и р с к и е														т о в а р н ы е													
	к о н с т р у к ц и о н н ы е с к о р о с т и км/ч.																											
	СВ	Л	СУ	С	ГП	УУ	НУ	КУ	К	Б	НВ	А	З	Ж	ЕФ	ФЛ	Э	Щ	Ө	У	Ы	ОВ						
112	112	112	112	100	107	96	112	107	107	107	107	100	98	53	60	53	60	48	53	59	48							
с т а н д а р т н ы е с к о р о с т и км/ч.																												
80	85	к	о	н	с	т	р	у	к	ц	и	о	н	н	ы	е	т	р	у	к	ц	и	о	н	ы	н	ы	е
65	70	85	70	75	90	100	96	90	90	95	95	95	95	95	40	50	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	48
60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	140	150	160	170	180	190	200	210	220	230	240	250	260	270
30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2	30,2
29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1	29,1
26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9	26,9
24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2	24,2

Примечания. 1. Скорость поездов на перегонах устанавливается на дорогах: а) при автоматическом торможении, — исходя из приведенных выше стандартных скоростей паровозов, б) при ручном и смешанном торможении — исходя из соответственных расчетов тормозных средств.

2. Скорость свыше 50 км/ч. допускается лишь по линиям, уложенным на сплошных подкладках.

3. Большегогрузные вагоны с давлением на ось в 17,5 — 18 т в отношении допускаемых скоростей по рельсам разных типов приравниваются к паровозам сер. Э и Ц, при чем на линиях, по которым уже установилось более льготное курсирование указанных вагонов, не следует запрещать это курсирование или уменьшать скорость движения, если в состоянии этих линий не произошло резких ухудшений.

4. Паровозы серии М, над которыми в настоящее время производятся опыты по определению их воздействия на путь, в таблице не помещены, теоретическая же допускаемая для них скорость может быть принята такой же, как для паровозов сер. С.

5. Приведенные стандартные скорости паровозов установлены для рельсов, изношенных по высоте до 6 — 7 мм, баласте с коэффициентом С — 3 и средним состоянием прочих элементов пути. При более значительном износе рельсов и запущенности пути дирекциями дорог могут соответственно снижаться указанные скорости, а равно и увеличиваться до предельных расчетов при хорошем качестве баласта и прочих элементов пути с обязательным донесением Главной дирекции жел. дорог о необходимых изменениях стандартных скоростей.

6. Приведенные в таблице скорости даются для постоянного обращения поименованных паровозов, единичный же пропуск тяжелого подвижного состава по пути несоответственной мощности может производиться на более льготных условиях, повышая допускаемые расчетные нормы на 50%.

ная между нижней кривой, осью абсцисс и ординатами, соответствует времени прохода пути $\left[\omega = \int_{s_0}^{s_m} \psi(s) ds \right]$. Как видно из чертежа, вся площадь, или полное время прохода участка AB , составляет:

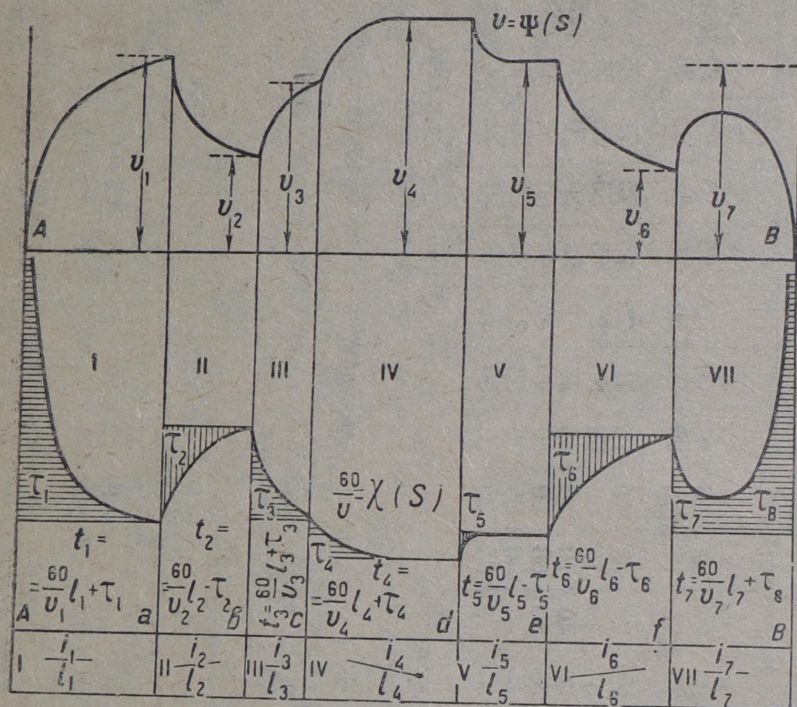
$$T = \frac{60}{v_1} l_1 + \tau_1 + \frac{60}{v_2} l_2 - \tau_2 + \frac{60}{v_3} l_3 + \tau_3 + \frac{60}{v_4} l_4 + \tau_4 + \frac{60}{v_5} l_5 - \tau_5 + \frac{60}{v_6} l_6 - \tau_6 + \frac{60}{v_7} l_7 + \tau_7 + \tau'_7 = \Sigma \frac{60}{v} l + (\tau_1 + \tau'_7) + (\tau_3 + \tau_4 + \tau_7) - (\tau_2 - \tau_5 - \tau_6),$$

где $\Sigma \frac{60}{v} l$ представляет собою сумму площадей прямоугольников, заключенных между ординатами, ограничивающими элементы профиля, l — длина этих элементов и $\frac{60}{v}$ — среднее

время прохода 1 километра (в мин.) при установившейся скорости движения v на этих элементах. Следовательно, сумма $\Sigma \frac{60}{v} l$

соответствует времени прохода поездом участка AB при движении его по каждому элементу профиля с равномерной установившейся скоростью v . Величины τ представляют собою площади заштрихованных на диаграмме фигур. Эти площади соответствуют времени, которое

нужно добавить к вре-



Черт. 27.

менам прохода элементов с установившимися скоростями или отнять для получения действительных времен пробега этих элементов. В тех случаях, когда поезд переходит на более трудный элемент, имея соответствующий разгон, время нужно убавить (площадки τ_2 , τ_5 и τ_6). В тех случаях, когда поезд переходит на более легкие элементы, начиная увеличивать скорость постепенно, время нужно увеличить (площадки τ_3 , τ_4 и τ_7). При трогании с места и остановке поезда изменение скорости происходит постепенно, вследствие чего время также приходится увеличить (площадки τ_1 и τ'_7). Как показывают расчеты, ошибки во времени при переходе с более легких элементов на более трудные и обратно компенсируют друг друга; сумму площадок ($\tau_2 + \tau_5 + \tau_6$) можно принять равною сумме площадок ($\tau_3 + \tau_4 + \tau_7$). Время же, необходимое для разгона при трогании с места и для остановки, ничем не компенсируется (сумма площадок $\tau_1 + \tau'_7$). Поэтому при расчете времени прохода перегонов по установившейся скорости движения к полученному расчетом времени $\Sigma \frac{60}{v} l$ нужно добавить

время на разгон и остановку. Это время должно быть определено путем опытных поездок. Если же опытных данных нет, то это добавочное время может быть определено по способу Липеца и Лебедева или взято в сред-

нем для товарных поездов на разгон и остановку по норме НКПС — 4 минуты, а на замедление хода при проходе промежуточной станции без остановки — 2 минуты.

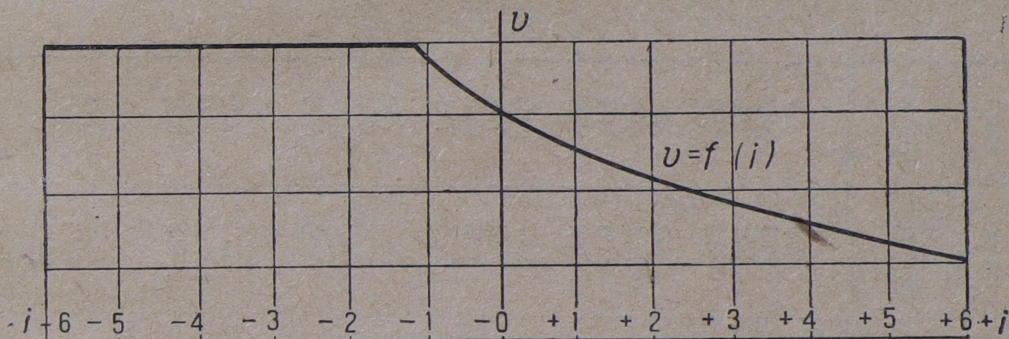
При расчете времени пробега по установившейся скорости движения сначала должны быть определены скорости движения поездов. Определение скорости движения на различных элементах производится графическим способом, как указано выше (§ 40).

После определения скоростей находятся значения $\frac{60}{v}$ времен прохода 1 км пути на различных элементах. Эти величины выписываются в таблицу или представляются в виде диаграммы $\frac{60}{v} = f(i)$ (черт. 30).

Дальнейший расчет заключается в определении произведений $\frac{60}{v} \cdot l$ для всех элементов перегона и подсчета суммы $\sum \frac{60}{v} l$ с добавлением к ней времени $\tau_1 + \tau_2$ на разгон и остановку.

3. Определение скоростей движения по мощности локомотива

52. Иногда приходится производить расчеты, когда нет точных данных о силе тяги локомотива. В этих случаях скорость движения поезда на различных элементах профиля может быть определена приблизительно, если известна мощность локомотива, в предположении, что во время работы до достижения предельной скорости движения мощность локомотива используется полностью.



Черт. 28.

Мощность локомотива N определяется количеством механической работы в единицу времени. Мощность локомотива, выраженная в лошадиных силах (75 кгм/сек.), составляет при равномерном движении поезда
$$N = \frac{F_{\text{кг}} \cdot v_{\text{км/ч}} \cdot 1000}{3600 \cdot 75} \text{ лош. сил} = \frac{F \cdot v}{270} = \frac{W \cdot v}{270} = \frac{(w_0 \pm i) v}{270} (P \pm Q).$$
 Мощность

локомотива не представляет величины постоянной: для паровозов она увеличивается до некоторой определенной скорости, а затем начинает уменьшаться.

Для решения приведенного уравнения нужно выразить N и w_0 в функции от v , после чего получим по отношению к v уравнение второй или третьей степени. Проще, подставляя различные значения v , определить

$i = \frac{270N}{v(P+Q)} - w_0$, построить диаграмму $v = f(i)$ (черт. 28) и затем по диа-

грамме определить значения скоростей для соответствующих уклонов.

Значения мощности некоторых локомотивов приведены в таблице 16.

Т а б л и ц а 16

МОЩНОСТЬ ПАРОВОЗОВ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ УСЛОВИЯХ РАБОТЫ

Серии	Интенсив- ность паро- образова- ния z	Мощность при различных скоростях v км/ч					Серии	Интенсив- ность паро- образова- ния z	Мощность при различных скоростях v км/ч				
		При наи- большей силе тяги	20 км/ч	30 км/ч	40 км/ч	50 км/ч			При наи- большей силе тяги	40 км/ч	60 км/ч	80 км/ч	100 км/ч
{ ОВ . . . }	20	235	237	200	136	28	{ НВ . . . }	20	221	192	155	74	19
	30	311	377	362	312	222		30	370	370	354	198	204
	40	311	481	495	466	382		40	470	512	498	458	389
	50	311	511	578	562	480		50	470	629	655	680	630
{ БЧ . . . }	20	347	326	345	354	386	{ С . . . }	20	348	385	400	373	350
	30	560	575	605	645	637		30	635	682	722	746	740
	40	750	750	850	890	507		40	797	945	1020	1075	1075
	50	750	750	940	1012	1026		50	797	648	1200	1280	1295
{ Щ . . . }	20	326	337	295	237	185	{ СЧ . . . }	20	460	445	490	487	443
	30	389	526	534	502	462		30	640	740	790	800	740
	40	389	615	679	665	628		40	850	1010	1100	1095	1075
	50	389	630	740	755	711		50	850	1240	1360	1400	1408
{ Э }	20	274	286	312	312	296	{ М }	20	518	505	467	370	220
	30	486	524	560	576	554		30	780	940	935	890	1325
	40	752	754	830	828	817		40	1140	1330	1380	1360	1325
	50	788	968	1090	1100	1060		50	1290	1690	1790	1780	1700
{ ЭЧ . . . }	20	370	396	392	390	389							
	30	600	980	870	710	690							
	40	870	960	1010	1030	1000							
	50	870	1060	1160	1165	1160							
{ ЕФ . . . }	20	370	359	345	326	297							
	30	390	643	655	659	650							
	40	940	973	1000	875	890							
	50	—	—	—	—	—							
{ ӨЧ . . . }	20	445	352	250	148	28							
	30	665	602	495	318	176							
	40	862	835	712	482	195							
	50	1030	1025	930	640	380							

Если мощность локомотива неизвестна, то ее можно определить для какого-нибудь определенного случая; напр., для руководящего подъема i_p , скорость движения по которому задана (v_p), сопротивление соответственно будет: $w_{o.p.} + i_p$. Для этого случая мощность равняется:

$$N_p = \frac{(w_{o.p.} + i_p)(P + Q)v_p}{270}$$

Для какой-либо другой скорости движения мощность будет равняться $N = \alpha N_p$, где α — коэффициент, зависящий от скорости. Этот коэффициент можно определить соответственно изменению мощности локомотива подходящего типа (табл. 16). Зная мощность N_p и коэффициент α , можно написать соответствующее уравнение для какого-либо уклона i , скорость на котором составляет v :

$$N = \frac{(w_0 + i)(P + Q)v}{270} = \alpha N_p = \alpha \frac{(w_{o.p.} + i_p)(P + Q)v_p}{270},$$

или:

$$(w_0 + i)v = \alpha(w_{o.p.} + i_p)v_p,$$

откуда можно определить v , или проще:

$$i = \frac{\alpha(w_{o.p.} + i_p) \cdot v_p}{v} - w_0.$$

4. Упрощенный способ определения времени пробега перегонов поездами (при изысканиях железных дорог)

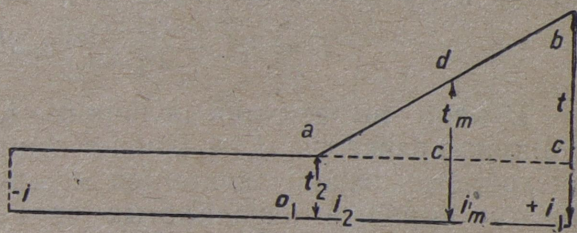
53. При изыскании железной дороги для разбивки площадок для остановочных пунктов изыскатель должен иметь возможность быстро подсчитать время прохода перегонов поездами, не имея готового проектного профиля. В этих случаях можно пользоваться упрощенным способом, предложенным Н. Н. Дегтеревым, основанном на следующих соображениях.

Если на диаграмме нанести линию, выражающую зависимость времени прохода поездом одного километра пути на различных элементах профиля от величины подъемов этих элементов, то эта линия до достижения предельных скоростей будет мало искривленной и для предварительных, приближенных, подсчетов может быть заменена прямой линией (черт. 29).

От момента достижения предельной скорости эта линия является горизонтальной прямою. Вследствие этого с достаточной степенью точности для предварительных расчетов можно принять, что эта зависимость выражается ломаной линией, состоящей из отрезков прямых линий. Для построения этой линии нужно определить точки переломов ее (черт. 29).

Скорость v_1 на руководящем подъеме i_1 и предельная скорость v_2 на спусках задаются. Следовательно, можно определить уклон i_2 , на котором поезд достигает предельной скорости движения (§ 52). Затем, определив время прохода одного километра пути на руководящем подъеме и на уклоне, на котором поезд достигает предельной скорости, по формуле $t = \frac{60}{v}$, строится кривая $\frac{60}{v} = f(i)$.

Время прохода одного километра по какому-либо уклону i_m выражается ординатой $di_m = de + ei_m$. Из чертежа видно, что отрезок $de = \frac{bc}{ac}ae$;



Черт. 29.

следовательно: $di_m = \frac{bc}{ac}ae + ei_m$. Но отрезок bc соответствует $t_1 - t_2$, отрезок ac соответствует $i_1 - i_2$, отрезок ae соответствует $i_m - i_2$ и отрезок ei_m соответствует t_2 , следовательно:

$$t_m = (t_1 - t_2) \frac{(i_m - i_2)}{(i_1 - i_2)} + t_2.$$

Время прохода какого-либо элемента длиной l_m с уклоном i_m составит:

$$t_m l_m = \left[t_2 + \frac{(t_1 - t_2)(i_m - i_2)}{(i_1 - i_2)} \right] l_m.$$

Время прохода элементов с уклонами положе i_2 при общей же длине l_2 составит $t_2 l_2$.

Полное время прохода перегона в одном направлении составит:

$$\begin{aligned} T &= t_2 l_2 + \Sigma \left[t_2 + \frac{(t_1 - t_2)(i_m - i_2)}{(i_1 - i_2)} \right] l_m = t_2 (l_2 + \Sigma l_m) + \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} \Sigma (i_m - i_2) l_m = \\ &= t_2 (l_2 + \Sigma l_m) - \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 \Sigma l_m + \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} \Sigma i_m l_m + \tau. \end{aligned}$$

Но $l_2 + \Sigma l_m = L$, где L — длина всего перегона (в километрах) и $i_m l_m = 1000 \frac{h_m}{l_m} l_m = 1000 h_m$, где h_m — разность отметок конечной и начальной точек элемента, выраженная в тех же мерах, что и длина элементов.

Если длину выразить в километрах, то $1000 h_m$ представляет собою ту же разницу отметок, но в метрах. Следовательно, считая разницу отметок h_m в метрах, а длину элементов в километрах, получим: $i_m l_m = h_m$. Подставляя полученные значения $l_2 + \Sigma l_m$ и $i_m l_m$ в выражение T , получим:

$$T = t_2 L - \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 \Sigma l_m + \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} \Sigma h_m + \tau.$$

В этом выражении величины t_1, t_2, i_1, i_2 и τ (τ — время на разгон и остановку) известны, L — длина всего перегона, Σl_m — сумма длин элементов с подъемами, заключающимися между i_1 и i_2 , и Σh_m — общая сумма разниц отметок конца и начала этих элементов. (Элементы, подъемы которых круче i_2 , при отсутствии проектного профиля определяются изыскателем без точного подсчета уклонов, приблизительно, руководствуясь отметками, полученными при нивелировке).

Обозначая $t_2 = a$; $\frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 = b$ и $\frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} = c$, получим:

$$T = aL - b \Sigma l_m + c \Sigma h_m + \tau.$$

Коэффициенты a, b и c должны быть определены заранее; точно так же заранее должны быть подсчитаны и даны в виде таблиц значения $b \Sigma l_m$ и $c \Sigma h_m$ для различных Σl_m и Σh_m , или, что еще лучше, все выражение T может быть дано в виде номограмм.

Если нужно подсчитать время занятия перегона одной парой поездов, т. е. взять сумму времен хода туда и обратно, то получаем следующее выражение для этого времени:

$$\begin{aligned} T &= t_2 L - \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 \Sigma l'_m + \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} \Sigma h'_m + t_2 L - \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 \Sigma l''_m + \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} \Sigma h''_m + \\ &+ 2\tau = 2t_2 L - \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 (\Sigma l'_m + \Sigma l''_m) + \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} (\Sigma h'_m + \Sigma h''_m) + 2\tau = \\ &= 2aL - b(\Sigma l'_m + \Sigma l''_m) + c(\Sigma h'_m + \Sigma h''_m) + 2\tau, \end{aligned}$$

где значок ' относится к направлению „туда“ и значок '' — к направлению „обратно“.

5. Определение времени прохода перегона по способу эквивалентных подъемов (по эквивалентным скоростям)

54. При ориентировочных подсчетах можно пользоваться способом, предложенным Липецом и названным им „способом эквивалентных подъемов“, который основан на следующих соображениях.

Полное время хода поезда на перегоне — $t = \sum \frac{l}{v} + \sum \tau$, где l — длина отдельных элементов, v — скорость движения по ним и $\sum \tau$ — время на разгон и остановку.

Если бы движение поезда совершалось по перегону с равномерной скоростью v_0 и полное время хода оставалось тем же, то скорость определилась бы из выражения:

$$t = \frac{L}{v_0} + \sum \tau = \sum \frac{l}{v} + \sum \tau, \text{ или: } \frac{L}{v_0} = \sum \frac{l}{v},$$

откуда:

$$v_0 = \frac{L}{\sum \frac{l}{v}}.$$

Эта скорость названа Липецом эквивалентной, а подъем i_0 , на котором поезд принятого при расчетах веса ($P + Q$), ведомый принятым при расчетах паровозом с интенсивностью парообразования z , развивает скорость v_0 , назван эквивалентным подъемом.

С достаточной для ориентировочных подсчетов точностью можно принять эквивалентный подъем одинаковым для одного и того же перегона для различных условий работы, не слишком разнящихся друг от друга (для однотипных паровозов, для одного и того же паровоза, но различных z и т. п.).

На основании приведенных соображений Липец предложил пользоваться эквивалентными подъемами, определенными по эквивалентным скоростям для какого-нибудь определенного случая, для расчета времени прохода поездами перегонов при других условиях работы.

Порядок расчета следующий.

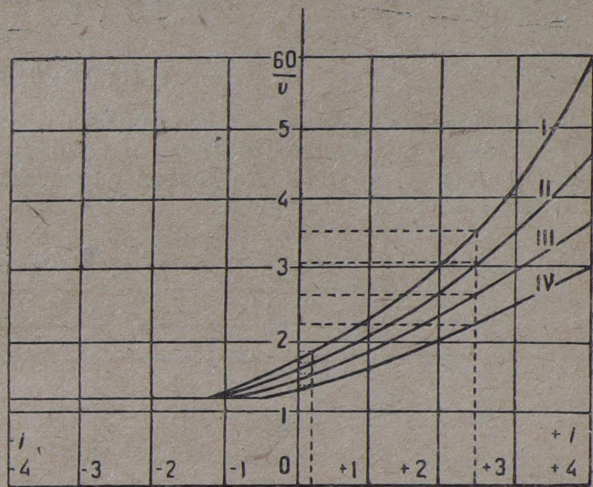
1) Производится точный подсчет времени хода поезда на перегонах для какого-либо паровоза, состава и интенсивности парообразования z .

2) Определяются значения v и $\frac{l}{v}$ для различных элементов профиля и $\sum \frac{l}{v} = t$ для всех перегонов.

3) Строится кривая $\frac{60}{v} = f(i)$ (черт. 30).

4) Определяются значения $\frac{60}{v} = \frac{t}{L}$ (время прохода 1 км) для всех перегонов.

5) Определяются значения подъемов i_0 , соответствующих $\frac{t}{L}$ на различных перегонах по кривой $\frac{60}{v} = f(i)$ (черт. 30). Полученные значения подъемов i_0 и будут эквивалентными подъемами для разных перегонов.



Черт. 30.

6) Определяются значения поправок $\Sigma\tau$ для всех перегонов.

Этим заканчивается предварительный подсчет. Если нужно определить время хода поезда для какого-либо частного случая, отличного от первоначального, то необходимо:

7) Определить значения скоростей движения этого поезда на различных подъемах.

8) Построить кривую $\frac{60}{v} = f_1(i)$ для этого случая (черт. 30).

9) Определить значения $\frac{60}{v}$ для всех перегонов непосредственно по кривой $\frac{60}{v} = f_1(i)$ соответственно полученным ранее эквивалентным подъемам на этих перегонах.

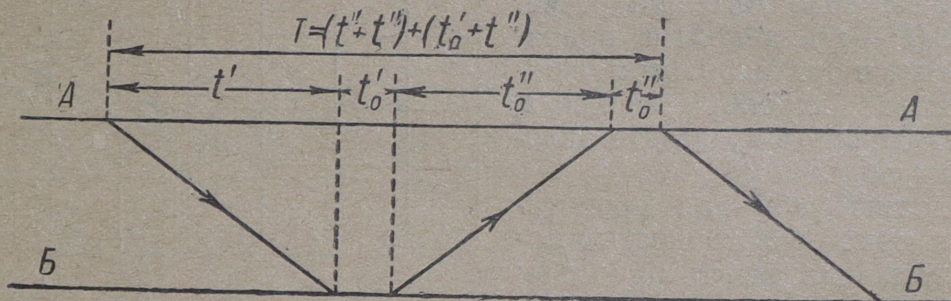
10) Определить время хода поезда по перегонам, которое равно:

$$t = \left(\frac{60}{v} \cdot L + \Sigma\tau \right).$$

6. Расчет пропускной способности

55. Проверка пропускной способности производится путем построения графика движения поездов по полученным величинам времени пробега перегонов поездами.

Пропускная способность дороги определяется числом пар поездов, которые могут быть пропущены в сутки по дороге.



Черт. 31.

Пропускная способность дороги зависит от размещения остановочных пунктов, блок-постов, развитых станций, оборудования дороги для приема поездов и обслуживания подвижного состава и скорости движения поездов, при чем пропускная способность ограничивается наиболее слабым из всех элементов, от которых она зависит.

Тяговые расчеты имеют отношение к зависимости пропускной способности от условий движения поездов, т. е. от величины перегонов и скорости движения.

При этом приходится решать следующие две задачи:

1) определение расстояния между двумя остановочными пунктами или блок-постами с таким расчетом, чтобы была удовлетворена заданная пропускная способность, т. е. чтобы по данной дороге можно было пропустить определенное число пар поездов;

2) определение пропускной способности данной дороги.

Расчет и проверка пропускной способности производится путем построения графика движения поездов по полученным величинам времени пробега перегонов поездами.

Примечание. При построении графика движения следует сначала нанести на график пассажирские поезда, а затем товарные; нанесение товарных поездов на график следует начинать с наиболее трудного перегона, каковым являются перегоны, время прохода которых поездом наибольшее, а также перегоны, примыкающие к пунктам скрещения и обгона пассажирских поездов.

Если имеется определенное задание, то график должен быть построен для всех заданных поездов (пассажирских, товарных и проч.). Если такого задания нет или если по заданию допускается, то определение или проверка пропускной способности производится по параллельному графику, т. е. по графику движения поездов, идущих с одинаковой скоростью, при чем одна пара пассажирских поездов условно принимается для однопутных линий за полторы пары товарных. В этом случае достаточно построить график для одной пары поездов. Число пар поездов при параллельном графике определяется по наиболее тяжелому в отношении времени перегону.

Пропускная способность определяется на основании нижеследующих соображений. Примем следующие обозначения (черт. 31, 32, 33, 34):

n — число пар поездов в сутки;
 n' и n'' — число поездов в разных направлениях (для двупутных линий);
 T — промежуток времени между проходом двух смежных поездов в одном направлении;
 t' — время прохода поездом перегона „туда“;
 t'' — то же обратно;
 t_1 — промежуток времени между прибытием на станцию двух поездов с двух смежных перегонов (для однопутных дорог);
 t_2 — промежуток времени между отправлением со станции двух поездов на два смежных перегона (для однопутных дорог);
 t'_0 и t''_0 — промежуток времени между прибытием на станцию поезда и отправлением с той же станции на тот же перегон поезда обратного направления (для двух направлений);
 t_0 — время, необходимое для приема поезда, сношения с соседней станцией для получения разрешения на отправление поезда;
 t'_c и t''_c — промежуток времени между прибытием на станцию поезда и отправлением с предыдущей станции на тот же перегон следующего поезда того же направления (для двух направлений);
 t'_{np} и t''_{np} — время простоя поезда на станции (для двух направлений).

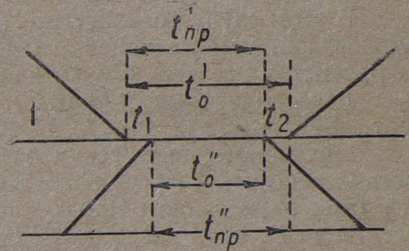
При параллельном графике между числом пар поездов n (или числом поездов n' и n'' для двупутной линии) и промежуток времени между проходом двух смежных поездов в одном направлении существует зависимость: $Tn = 1440$ мин. (или $T'n' = 1440$ и $T''n'' = 1440$),

откуда $n = \frac{1440}{T}$ (или $n' = \frac{1440}{T'}$ и $n'' = \frac{1440}{T''}$) и $T = \frac{1440}{n}$ (или $T' = \frac{1440}{n'}$ и $T'' = \frac{1440}{n''}$).

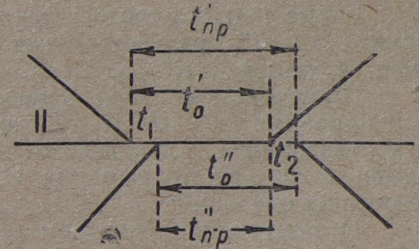
Для однопутных линий $T = t' + t'' + t'_0 + t''_0$ (черт. 31), откуда: $t' + t'' = T - (t'_0 + t''_0)$.

Элемент времени t'_0 и t''_0 , как видно из схем порядка прибытия и отправления поездов, составляют следующие величины:

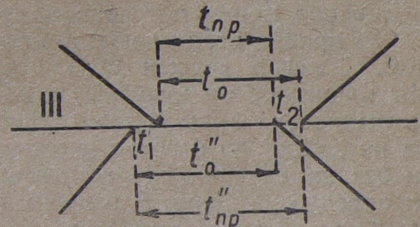
$$\begin{aligned} \text{I. } t'_0 &= t_0 + t_1 + t_2 = t'_{np} + t_2 \\ t''_0 &= t_0 &= t''_{np} - t_2 \\ \hline t'_0 + t''_0 &= 2t_0 + t_1 + t_2 = t'_{np} + t''_{np} \end{aligned}$$



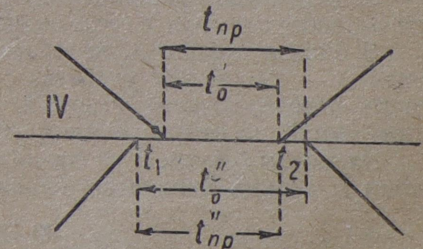
$$\begin{aligned} \text{II. } t'_0 &= t_0 &= t'_{np} - t_2 \\ t''_0 &= t_0 &= t''_{np} + t_2 \\ \hline t'_0 + t''_0 &= 2t_0 &= t'_{np} + t''_{np} \end{aligned}$$



$$\begin{aligned} \text{III. } t'_0 &= t_0 &= t'_{np} + t_2 \\ t''_0 &= t_0 &= t''_{np} - t_2 \\ \hline t'_0 + t''_0 &= 2t_0 &= t'_{np} + t''_{np} \end{aligned}$$



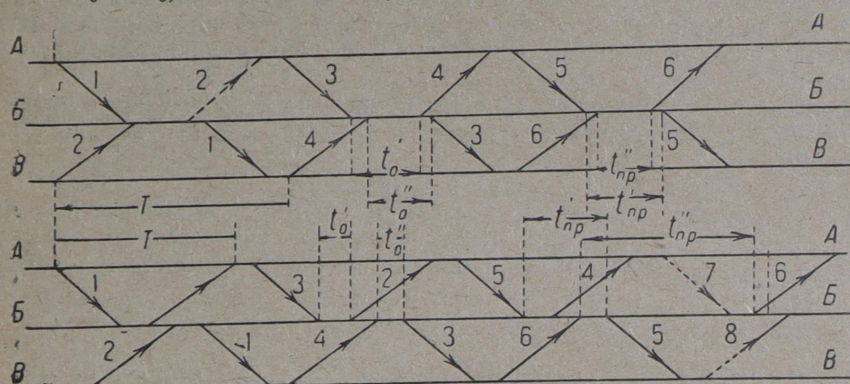
$$\begin{aligned} \text{IV. } t'_0 &= t_0 &= t'_{np} - t_2 \\ t''_0 &= t_0 + t_1 + t_2 = t''_{np} + t_2 \\ \hline t'_0 + t''_0 &= 2t_0 + t_1 + t_2 = t'_{np} + t''_{np} \end{aligned}$$



Черт. 32.

Как видно из приведенных схем возможных комбинаций порядка прибытия и отправления поездов, наименьшее время между прибытием на станцию поезда и отправлением с той же станции на тот же перегон составляет t_0 или $(t_1 + t_2)$. Из приведенных схем видно также, что при всех комбинациях имеет место равенство: $t'_0 + t''_0 = t'_{np} + t''_{np}$.

Этим равенством определяется наименьшая сумма необходимых времен простоя на станции двух скрещивающихся поездов. Если простой зависит от других причин (осмотр поезда, набор воды и топлива и т. п.), то сумма времен простоя поездов определяет сумму $t'_0 + t''_0$; следовательно, при увеличении простоя скрещивающихся поездов на станции увеличивается сумма $t'_0 + t''_0$, а следовательно, и время T , что влечет уменьшение пропускной способности.



Черт. 33.

В этом случае равенство $(t'_0 + t''_0) = (t'_{np} + t''_{np})$ не будет иметь места для двух смежных поездов, прибывающих и отправляющихся с остановочного пункта на смежные перегоны; это равенство остается в силе для одних и тех же номеров поездов.

Для двупутных линий $T' = t' + t'_c$ и $T'' = t'' + t''_c$ (или вообще $T = t + t_c$) (черт. 34), откуда: $t' = T' - t'_c$ и $t'' = T'' - t''_c$.

Полученные выражения дают возможность определить T , если известны t' , t'' , t'_0 и t''_0 (при определении пропускной способности) или t'' , если известно T , t'_0 и t''_0 (при размещении остановочных пунктов и блокпостов).

Время t' и t'' определяется расчетом, время t'_0 и t''_0 равняется, как показано выше, t_0 или $t_0 + t_1 + t_2$.

Промежуток времени t_1 между моментами прибытия на одну и ту же станцию двух поездов противоположного направления должен быть достаточным для выполнения следующих операций:

1) получение дежурным по станции уведомления о прибытии на станцию первого поезда в полном составе и об остановке его до предельного столбика; открытие входного семафора; в зависимости от местных условий (расположения станционных путей и постов); эта операция может потребовать от 1 до 2 минут;

2) проход вторым поездом расстояния, равного тормозному пути перед входным семафором. Семафор должен быть открыт после прибытия первого поезда с таким расчетом, чтобы машинист второго поезда не начал тормозить для остановки у семафора. Это может быть выполнено лишь в том случае, когда второй поезд к моменту открытия входного семафора не дойдет до него на расстояние тормозного пути. Время прохода поездом тормозного пути без замедления скорости зависит от состава поезда, мощности локомотива и профиля пути перед семафором. Это время может быть определено расчетом по способу Липеца и Лебедева, Дегтерева или Унрейна;

3) вход поезда на станцию и остановка его. Это время зависит от расстояния от семафора до места остановки поезда (в сред. ок. 900 м), от состава поезда, мощности локомотива и профиля пути.

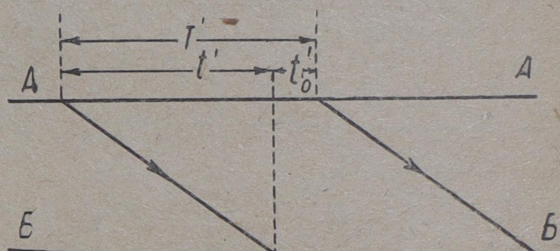
В общем элемент t_1 колеблется от 2 до 6 мин. Промежуток времени t_2 принимается равным 1—2 мин. для удобства станционных и поездных агентов, которые после отправки первого поезда должны иметь некоторый промежуток времени для дачи соответствующих распоряжений по отправлению поезда.

Элементы t_0 зависят от способов сношения между станциями (телеграфное, телефонное, при помощи жезловых аппаратов, блокировки) и местных условий и составляют следующие величины.

1) При телеграфном сношении

При этом способе промежуток времени t_0 между прибытием поезда на остановочный пункт с перегона и отправлением поезда в обратном направлении на тот же перегон (при однопутном движении) должен быть достаточным для следующих операций:

При очень больших простоях можно изменить порядок отправления поездов, как указано на схеме (черт. 33), для уменьшения $t'_0 + t''_0$, т. е. для увеличения пропускной способности. Но при этом простой поездов на станции B еще увеличится, — следовательно, уменьшится коммерческая скорость и может потребоваться укладка лишних запасных путей.



Черт. 34.

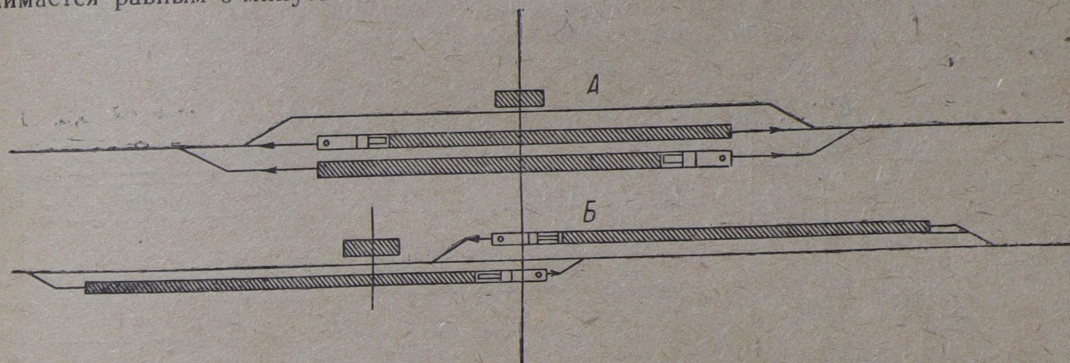
а) получения дежурным по станции уведомления о прибытии поезда на станцию. Этот элемент времени может быть отдельно не учитываем, так как эта операция может быть произведена до окончательной остановки поезда, т. е. за счет времени прохода поездом перегона;

б) сношения с соседней станцией по телеграфу о прибытии поезда и о возможности отправить обратный поезд, записи соответствующих сведений в журнал и заготовления разрешения на отправление (путевки) для машиниста; при вполне внимательном и аккуратном отношении на это требуется около 3 минут;

в) передачи разрешения (путевки) машинисту. Это время зависит от расположения путей на станции (черт 35).

Если пути расположены по схеме А черт. 35, то для вручения разрешения нужно пройти расстояние, равное примерно половине длины поезда (до 400 м), на что потребуется до 5 минут; если пути расположены по схеме Б черт. 35, то для вручения разрешения нужно пройти менее 100 м, на что требуется около 1 минуты.

Таким образом, время t_0 для данного случая составляет от 4 до 8 минут и $\min t'_0 = \min t''_0 = 4$ мин. и $\max t'_0 = \max t''_0 = 8 + 2 + 2 = 12$ мин. По нормам НКПС этот элемент принимается равным 6 минутам.



Черт. 35.

Промежуток времени t_c между прибытием поезда с перегона и отправлением на тот же перегон следующего поезда в том же направлении с предшествующей станцией (при двупутном движении) должен быть достаточным для следующих операций:

а) получения уведомления дежурным по станции (соседней со станцией, отправляющей поезд) о прибытии поезда. Этот элемент времени, как указано выше, может быть отдельно не учитываем;

б) сношения с соседней станцией по телеграфу о возможности отправления поезда, записи соответствующих сведений в журнал и заготовления разрешения на отправление для машиниста. Как и в предыдущем случае, на это требуется около 3 минут;

в) передачи разрешения машинисту, на что требуется, как указано выше, от 1 до 5 минут. Следовательно, время t_c составляет от 4 до 8 минут. По нормам НКПС этот элемент принимается равным 4 минутам.

2) При телефонном сношении

Телефонное сношение отличается от телеграфного только способом уведомления соседней станции и получения от нее разрешения на отправление поезда по телефону, а не по телеграфу, на чем можно сэкономить 1 минуту. По нормам НКПС при телефонном сообщении этот элемент принимается для однопутной дороги в 5 мин., для двупутной — 3 минуты.

3) При сношении при помощи жезловых аппаратов

При этом способе промежуток времени между прибытием поезда на остановочный пункт с перегона и отправлением поезда в обратном направлении на тот же перегон (при однопутном движении) должен быть достаточным для следующих операций:

а) получения уведомления дежурным по станции о прибытии поезда и получения жезла от машиниста. Этот элемент времени зависит от расположения станционных путей: при расположении путей по схеме А черт. 35 жезл может быть получен при проходе паровоза мимо станционного здания; при расположении путей по схеме Б потребуется лишняя 1 минута на доставку жезла;

б) вложения жезла в аппарат, вызова соседней станции, уведомления о прибытии поезда и о предстоящем отправлении обратного поезда и выемки жезла. Эта операция требует около 1 минуты;

в) вручения жезла машинисту, на что потребуется столько же времени, сколько и при вручении письменного разрешения, т. е. от 1 до 5 минут.

Следовательно, при жезловой системе время t_0 составит от 3 до 6 минут, а $\min t'_0 = \min t''_0 = 3$ мин. и $\max t'_0 = \max t''_0 = 10$ мин. По нормам НКПС этот элемент принимается равным 4 минутам.

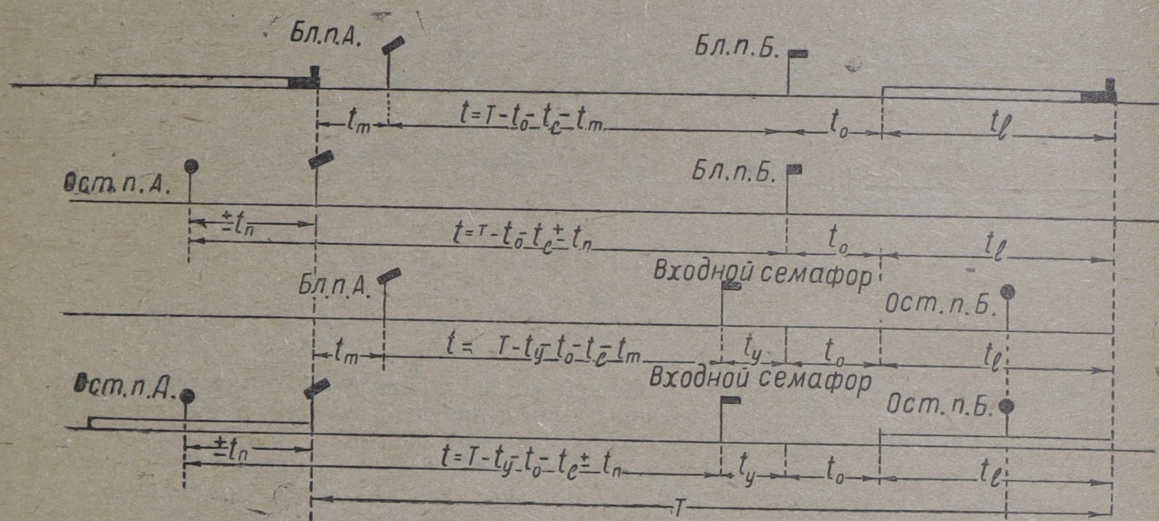
4) При сношении при помощи блок-постов

При этом способе промежутков времени t_c между проходом поездом поста и отправлением с предыдущего поста на тот же перегон в том же направлении следующего поезда (при двупутном движении) должно быть достаточным для следующих операций:

- а) закрытия семафора своего поста после прохода поезда;
- б) вызова следующего поста и уведомления о проходе поезда;
- в) вызова предыдущего поста и уведомления его о проходе поезда;
- г) отблокирования аппарата;
- д) открытия семафора предшествующего поста.

На все это требуется около 1 минуты. По нормам НКПС этот элемент принимается равным 2 минутам.

При определении времени занятия перегонов в особенности в тех случаях, когда время занятия перегона близко к предельному, соответствующему заданной пропускной способности, должно быть учтено следующее обстоятельство. Если место остановок поездов на двух станциях расчетного перегона однопутной дороги расположено неодинаково по отношению к осям станций, то времена t' и t'' должны быть определены не между осями станций, а между пунктами действительной стоянки поездов на обеих станциях (между головными точками поездов).



Черт. 36.

Для двупутных дорог время t должно быть определено от концевой точки поезда на месте стоянки его на станции отправления до входного семафора станции прибытия. В этом случае должно быть учтено время на получение уведомления дежурным по станции о прибытии поезда, которое может быть принятым равным 1 минуте.

Для определения расстояния между остановочными пунктами или блок-постами должно быть определено время T , а затем расстояние подобрано так, чтобы время прохода перегонов поездами не превышало:

- а) для однопутных дорог туда и обратно (сумма):

$$t' + t'' = T - (t'_0 + t''_0);$$

- б) для двупутных:

$$t = T - t_0.$$

При этом при определении расстояний между блок-постами должно быть соблюдено условие, вытекающее из следующих соображений (черт. 36).

- а) Отблокировка с блок-поста Б может быть произведена только после прохода хвоста поезда мимо этого поста; следовательно, при определении расстояния между блок-постами должно быть учтено время t_y прохода поездом длины пути, равного длине l поезда.

Это время зависит от скорости движения v около поста Б и длины поезда l и равняется:

$$t_y = \frac{l}{v}.$$

Если блок-пост Б расположен на остановочном пункте, то, как было указано выше, время прохода перегона должно быть определено до входного семафора, при чем должно быть учтено время t_y , необходимое для уведомления дежурного по станции о прибытии поезда на станцию, которое можно принять равным 1 минуте;

- б) за время сношения между соседними постами, отблокирования и открытия семафора А поезд успеет пройти расстояние $l_0 = t_0 v$, где v — соответствующая скорость движения.

При определении расстояний между блок-постами должны быть учтены длина l_0 или время t_0 .
 в) Семафор предшествующего блок-поста А должен быть открыт настолько заблаговременно до подхода к нему поезда, чтобы машинисту не было надобности тормозить, т. е. должно быть учтено время t_m перехода поездом без уменьшения скорости длины тормозного пути i_m , соответствующей уклону около поста А.

Если блок А расположен на остановочном пункте, то надобность в учете этого элемента времени отпадает: поезд должен быть остановлен независимо от открытия семафора А, и время на остановку учитывается при расчете времени прохода предшествующего перегона. В этом случае, как указано выше, время прохода перегона АВ должно считаться не от станции А, а от головной точки поезда, стоящего перед отправлением на станции А.

Таким образом, расстояние между двумя смежными блок-постами должно соответствовать времени хода поезда не более: $t = T - t_0 - t_l - t_m$.

В таблицах 17 и 18 указаны величины отдельных элементов, определенные по способу Липеца и Лебедева для поезда весом $Q = 1560$ т, соответствующего руководящему подъему $i_k = 7$ при обслуживании его паровозом серии Э, при угольном отоплении и при наличии 16% тормозных вагонов действующих.

Т а б л и ц а 17

Уклоны $\pm i_k$	Разгон поезда до предельных возможных или допускаемых скоростей, соответствующих уклонам		Остановка поезда при торможении при скоростях движения, соответствующих различным уклонам		Время прохода поездом с установившейся возможной или допускаемой скоростью длины пути, равной:	
	длина пути разгона (в метрах)	потеря времени при разгоне τ_1	длина тормозного пути (в метрах)	потеря времени при торможении τ_2	длине поезда (700 м)	длине тормозн. пути, указанного в гр. 4
1	2	3	4	5	6	7
+ 7	560	3,56	25	0,10	4,20	0,15
+ 6	613	2,80	27	0,15	3,90	0,15
+ 5	700	2,10	30	0,20	3,50	0,16
+ 4	900	1,64	45	0,23	3,00	0,20
+ 3	1110	1,50	80	0,30	2,50	0,25
+ 2	1700	1,70	135	0,33	2,04	0,32
+ 1	2600	2,13	210	0,45	1,60	0,45
0	5700	2,60	313	0,55	1,30	0,60
- 1	4100	2,30	415	0,66	1,16	0,72
- 2	2440	1,90	500	0,82	1,08	0,82
- 3	1550	1,50	560	0,95	1,05	0,90
- 4	1000	1,15	595	1,02	1,06	0,97
- 5	680	0,85	600	1,06	1,11	1,04
- 6	560	0,70	580	1,05	1,20	1,10

Как было указано выше, для однопутных линий имеет место равенство: $t'_0 + t'_0 = t'_{np} + t'_{np}$. Поэтому в случае необходимости увеличить простой поезда по причинам технического или коммерческого характера необходимо учесть этот простой. По нормам НКПС рекомендуется принимать:

а) простой поезда на станции при смене локомотива — не менее 8 минут и

б) простой поезда на станции с набором воды для паровоза — не менее 12 минут.

Кроме того должны быть предусмотрены соответствующие стоянки на станциях для осмотра локомотива и вагонов и чистки топки паровоза. Эти простои зависят от организации тягового хозяйства, от рода топлива и местных условий.

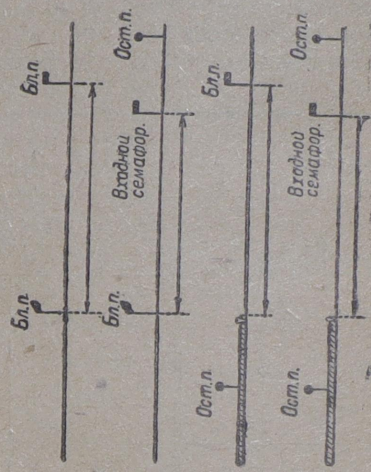
Если не задана пропускная способность дороги, то следует принимать:

1) для магистралей усиленного типа (сверхмагистралей) грузооборот в грузовом направлении (на 1 км длины) 8 000 000 тонно-километров в год; кроме того две пары пассажирских и две пары хозяйственных или рабочих поездов.

2) для магистралей нормального типа грузооборот в грузовом направлении (на 1 км длины) 800 000 тонно-километров в год; кроме того две пары пассажирских поездов и две пары хозяйственных или рабочих с прибавлением ко всему числу поездов 20% на факультатив, считая две пары пассажирских за три пары товарных. Возможное развитие всех устройств должно быть предвидено для обслуживания движения при одном пути 24 пар, при двух путях — 40 пар поездов (если нет автоблокировки). Рост грузооборота можно принимать: 1) для дорог европейской части СССР в первые пять лет по 4% простых, в следующие 25 лет по 2,5% сложных; 2) для дорог азиатской части СССР в первые пять лет по 6% простых, в следующие 25 лет по 4% сложных.

СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ВРЕМЕНИ ЗАДЕРЖЕК И ПРОСТОЯ ПЕЗДОВ ПО УСЛОВИЯМ ДВИЖЕНИЯ Таблица 18

Условия движения	Время прохождения поездов с предельной установившейся или допущенной скоростью длины пути, равной:		Время входа поезда на стан. и остановки его	Время получения по ст. увелом. о прибор. и остан. поезда (получ. жезла)	Время сношения с седн. ст. и заготовлен. разшения на след. поезда	Время передачи разрешения или жезла машинисту	Промежуток времени на станции между:		Всего потеря времени на остановочных пунктах и при проходе блокпостов		
	длине поезда	длине тормозного пути					t_1	t_2		от мин.	до мин.
1	2	3	4	5	6	7	8 (гр. 3+гр. 4+ +гр. 5) 3,65 5,60	9	10 (гр. 6+ гр. 7) 4,0 8,0	11 (гр. 6+гр. 7+ +гр. 8+гр. 9) 8,65 15,60	
1. Телеграфное движение { от однопутн. { до сношение. . двупутн. { от { движение { до	—	0,15 1,10	2,5 2,5	1,1 2,0	3,0 3,0	1,0 5,0	— —	1,0 2,0	— —	— 8,00	
2. Телефонное движение { от однопутн. { до сношение. . двупутн. { от { движение { до	—	0,15 1,10	2,5 2,5	1,0 2,0	2,0 2,0	1,0 5,0	3,65 5,60	1,0 2,0	3,0 7,0	7,65 14,65	
3. Железная система (одно- путн. движение).	—	—	—	—	—	—	—	—	—	— 7,0	
4. Блок-посты (двупутное движение):											
а) между двумя блок-постами	1,05 4,20	0,15 1,10	—	—	—	1,0 1,0	—	—	(гр. 2+гр. 3+гр. 6) 2,20 —	— 6,30	
б) между блок-пост. и остан. пунктом	1,05 4,20	0,15 1,10	—	1,0 1,0	1,0 1,0	—	—	—	(гр. 2+гр. 3+гр. 5+гр. 6) 3,25 —	7,30 —	
в) между остан. пункт. и блок-пост	1,05 4,20	—	—	—	—	1,0 1,0	—	—	(гр. 2+гр. 6) 2,05 —	— 5,20	
г) между двумя остан. пунктами	1,05 4,20	—	—	1,0 1,0	—	—	—	—	(гр. 2+гр. 5+гр. 6) 3,05 —	— 6,20	



10. Влияние конечной длины поезда

56. Все выводы и расчеты, которые приводились выше, велись в предположении сосредоточения всей массы поезда в одной точке. В действительности поезд во время движения может находиться одновременно на двух и нескольких элементах профиля, при чем отдельные части поезда будут находиться в различных условиях работы. Благодаря этому скорости движения и времена прохода 1 км в час $\left(\frac{60}{v}\right)$ при переходе поезда с одного элемента на другой будут несколько отличаться от расчетных; действительные переходы будут более плавные.

Как показали многочисленные опыты Ю. В. Ломоносова, очертание кривой $\left(\frac{60}{v}\right)$ получает вид, указанный пунктиром на черт. 37. На том же чертеже сплошной линией представлена расчетная кривая $\frac{60}{v} = \chi(s)$. Заштрихованные площадки между кривыми соответствуют разнице между действительным и расчетным временем. При переходе на более трудные элементы действительное время меньше на величину, выражаемую площадками $\tau_{II} + \tau_V + \tau_{VI}$, а при переходе на более легкие элементы — площадками $\tau_{III} + \tau_{IV} + \tau_{VII}$. Опытные исследования Ю. В. Ломоносова показали, что сумма одних площадок компенсируется суммой других; разница между ними весьма незначительна, вследствие чего расчетное время можно принимать соответствующим действительному. Благодаря этому можно вести тяговые расчеты в предположении, что масса поезда и силы, действующие на него, сосредоточены в одной точке (в центре тяжести, или в геометрическом центре поезда).



Черт. 37.

В некоторых случаях приходится учитывать длину поезда (при расчете разгона с остановочного пункта, при проектировании улавливающих тупиков, при расследовании происшествий). Расчет влияния длины поезда может быть произведен на основании следующих соображений (черт. 38).

При переходе с уклона i_1 на уклон i_2 поезд будет занимать последовательно следующие промежуточные положения:

- I. Весь поезд находится на уклоне i_1 .
- II. Локомотив находится на уклоне i_2 , вагоны — на уклоне i_1 .
- III. Локомотив и часть вагонов, общая длина которых составляет l_m , находятся на уклоне i_2 , остальная часть вагонов, общая длина которых составляет $l_2 - l_m$, находится на уклоне i_1 .
- IV. Весь поезд находится на уклоне i_2 .

Для положений I и IV расчет может вестись обычным порядком в предположении, что весь вес поезда сосредоточен в точке O, — центре тяжести поезда.

Удельное сопротивление поезда в этом случае будет составлять:

$$\text{для положения I: } w_I = w_0 + \frac{i_1 P + i_2 Q}{P + Q} = w_0 + i_1 \frac{(P + Q)}{(P + Q)} = w_0 + i_1;$$

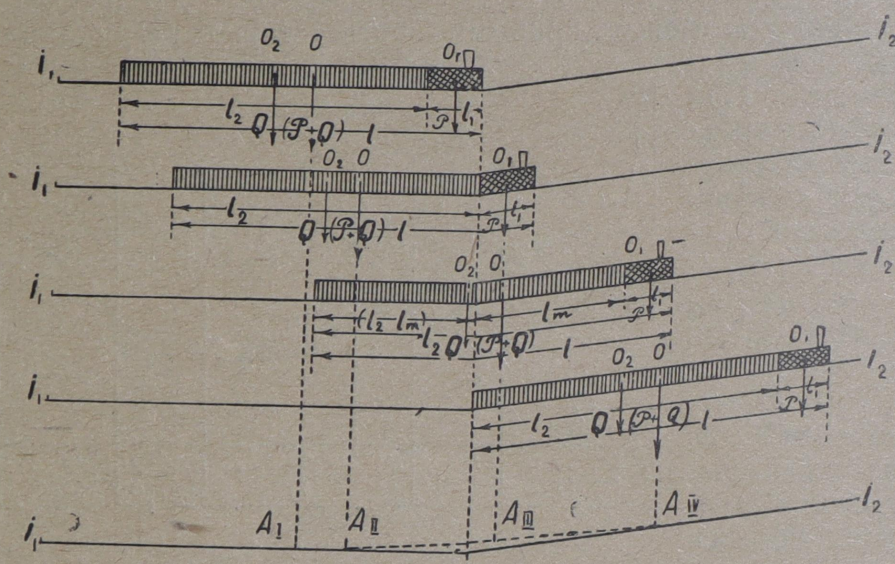
для положения IV: $w_{IV} = w_0 + \frac{i_2 P + i_2 Q}{P + Q} = w_0 + i_2 \frac{(P + Q)}{(P + Q)} = w_0 + i_2$;

для положения II удельное сопротивление составляет: $w_{II} = w_0 + \frac{i_2 P + i_2 Q}{P + Q}$.

Во втором члене все величины определенные, постоянные, вследствие чего его можно заменить фиктивным эквивалентным уклоном: $i_{II} = \frac{i_2 P + i_2 Q}{P + Q}$, т. е. удельное сопротивление всего поезда будет равно: $w_{II} = w_0 + i_{II}$. В этом случае расчет движения поезда по уклонам i_1 и i_2 можно заменить расчетом движения по уклону i_{II} .

Для положения III удельное сопротивление составляет:

$$w_{III} = w_0 + \frac{i_2 P + i_2 Q \frac{l_m}{l_2} + i_1 Q \frac{l_2 - l_m}{l_2}}{P + Q} = \frac{i_2 \left(P + Q \frac{l_m}{l_2} \right) + i_1 Q \left(\frac{l_2 - l_m}{l_2} \right)}{P + Q}.$$



Черт. 38.

В этом случае второй член можно заменить эквивалентным уклоном

$$i_{III} = \frac{i_2 \left(P + Q \frac{l_m}{l_2} \right) + i_1 Q \frac{l_2 - l_m}{l_2}}{P + Q},$$

т. е. сопротивление поезда выразится:

$$w_{III} = w_0 + i_{III}.$$

Для всякого положения поезда между I и IV можно, таким образом, определить эквивалентный уклон, при движении по которому сопротивление поезда будет соответственно равно действительному сопротивлению поезда, находящегося частью на уклоне i_1 , частью на уклоне i_2 , и расчет для каждого такого уклона можно вести обычным порядком. Из выражения:

$$i_{I_{II}} = \frac{i_1 P + i_2 Q \frac{l_m}{l_2} + i_1 Q \frac{l_2 - l_m}{l_2}}{P + Q} = \frac{i_1 P + i_1 Q + i_2 Q \frac{l_m}{l_2} - i_1 Q \frac{l_m}{l_2}}{P + Q} = i_1 + (i_2 - i_1) \frac{l_m}{l_2} \cdot \frac{Q}{P + Q}$$

видно, что эквивалентный уклон меняется пропорционально l_m , т. е. по закону прямой линии.

Для производства расчетов с учетом длины поезда нужно заменить имеющийся профиль эквивалентным в пределах между точками A_I и A_{IV}

(черт. 38) так, чтобы уклон в точке A_{II} составлял величину $\frac{i_2 P + i_1 Q}{P + Q}$, а в остальных точках между A_I и A_{II} и между A_{II} и A_{IV} менялся по закону прямой линии от значения i_1 до $\frac{i_2 P + i_1 Q}{P + Q}$ и от значения $\frac{i_2 P + i_1 Q}{P + Q}$ до значения i_2 .

При графическом решении задачи расстояние между A_I , A_{II} и между A_{II} и A_{IV} нужно разделить на несколько частей и для каждой полученной части вести построение обычным путем, полагая значение эквивалентного подъема одинаковым в пределах каждой выделенной части. Очевидно, что расчет будет тем точнее, чем меньше будет длина каждой части.

11. Определение расхода воды

57. Полный расход воды паровозами B складывается из расхода воды котлом B_k и дополнительным расходом из тендера (на поливку угля, на утечку).

Расход воды котлом B_k складывается:

- 1) из расхода воды машиной (B_m) и
- 2) из дополнительного расхода пара из котла на прочие нужды (на форсунку при нефтяном отоплении, на качание воды, на подогревание воды и нефти в баках тендера, на работу насоса воздушного тормоза, на свисток, на утечку и проч.).

Полный расход воды может быть выражен формулой:

$$B = B_k (1 + \beta) \gamma,$$

где β — коэффициент дополнительного расхода воды из тендера, который следует принимать при точном способе расчета от 0,1 до 0,3, а при приблизительном способе расчета — от 0,05 до 0,1. При этом следует принимать наибольшие значения β к насыщенному пару, легко увлекаемой воде, зимней погоде и угольному отоплению, а наименьшие — к перегретому пару, летним условиям и другим видам топлива.

Приблизительно можно пользоваться следующей таблицей.

Т а б л и ц а 19

ДОБАВОЧНЫЙ РАСХОД ВОДЫ ИЗ ТЕНДЕРА (В ПРОЦЕНТАХ)

Р о д о т о п л е н и я	П и насыщенном паре:		При перегретом паре:	
	зимой	летом	зимой	летом
Угольное отопление	30%	25%	20%	15%
Дров ное, нефтяное и проч. виды отопления.	20%	15%	15%	10%

Коэффициент γ относится к паровозам, имеющим подогреватель питательной воды по принципу смешения или поверхностный с отводом конденсата в бак тендера. В этом случае следует принимать $\gamma = 0,90$; в остальных случаях $\gamma = 1$.

Расход пара из котла может быть выражен формулой:

$$B_k = B_m \alpha + H(T + T_0) z_0,$$

где: H — поверхность нагрева котла (в кв. метрах), T — время хода (в часах); T_0 — время стоянок (когда T_0 точно неизвестно, допускается принимать $T_0 = 0,30T$); z_0 — часовой расход пара из котла, независимо от работы

машины (на прочие нужды), приходящейся на 1 м^2 поверхности нагрева. Этот расход (z_0) следует принимать:

- 1) для паровозов с угольным, дровяным и торфяным отоплением 1 кг ;
- 2) для паровозов с нефтяным отоплением:

летом 1 кг
 зимой $2,5 \text{ кг}$

Коэффициент α берется для паровозов с нефтяным отоплением (на усиленную работу форсунок во время расхода пара паровой машиной). Можно принимать $\alpha = 1,05$.

Расход пара паровой машиной может быть определен одним из следующих способов.

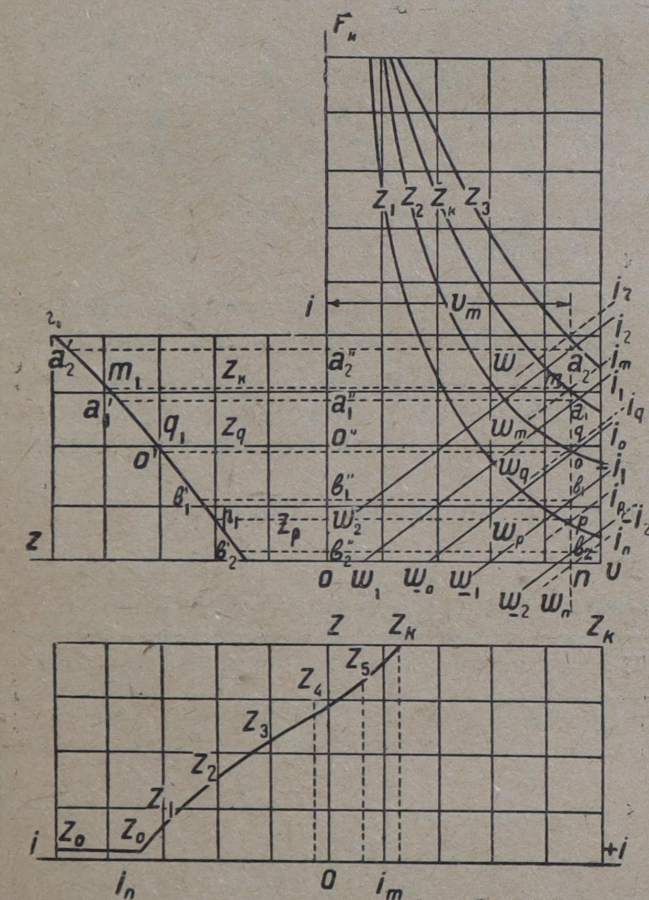
1. Определение расхода пара по среднему котловому расходу в час

58. Если известен средний часовой расход пара из котла, отнесенный к 1 м^2 поверхности нагрева (интенсивность парообразования z_k), во время работы паровоза t , то полный расход пара за все время составит $H z_k t$. За несколько периодов с различным расходом пара z_k полный расход пара составит: $B_k = \Sigma H z_k t = H \Sigma z_k t$. Так как время t равняется пройденному пути l , деленному на скорость v , то расход пара может быть выражен формулой:

$$B_k = H \Sigma z_k \frac{l}{v}.$$

Величина z_k не является величиной постоянной. До достижения предельной скорости движения эта величина может быть принята равной полной интенсивности парообразования котла, которая составляет: $z_k = z_m + z_0$, где z_m — расход пара машиной, принятый при выборе кривой $F_k = \varphi_k(z_m, v)$. С момента достижения предельной скорости движения до полного закрытия регулятора расход пара соответственно уменьшению силы тяги, также уменьшается от значения z_k до z_0 .

Для определения расхода пара на участках профиля, на которых работа паровоза проис-



Черт. 39.

ходит при неполной работе котла (уклоны от i_m до i_n на черт. 39), должна быть определена зависимость расхода пара от величины подъема $z_k = \varphi(i)$.

Эту зависимость весьма удобно определить графическим способом, предложенным Ю. В. Ломоносовым (черт. 39). На диаграмме (с правой стороны) кроме кривой $F_k = \varphi_k(z, v)$, соответствующей принятому при расчетах z_m , наносятся также кривые силы тяги, соответствующие другим значениям интенсивности парообразования $z_1, z_2, z_3 \dots$

На всех уклонах, на которых скорость менее предельной v_m (до i_m), расход пара, отнесенный к 1 м^2 поверхности нагрева, составляет: $z_k = z_m + z_0 \text{ кг}$

в час. На всех уклонах более легких, нежели — i_n , т. е. при движении паровоза с закрытым регулятором, расход пара составляет z_0 .

Для промежуточных уклонов между i_m и — i_n расход пара должен быть достаточным для развития соответствующей силы тяги, измеряющейся отрезками прямой mn в пределах от 0 (нуля) до величины mn . Эти отрезки pr , pq , pt , pr являются ординатами кривых силы тяги для различных форсировок котла z_1, z_2, \dots и линий сопротивления w_p, w_q, w_r, \dots , т. е. соответствуют значениям силы тяги при скорости v_m и интенсивности парообразования z_1, z_2, z_3, \dots и значениям сопротивления поезда при скорости v_m на уклонах i_p, i_q, i_r, \dots . Следовательно, точки p, q, r пересечения прямой mn с кривыми z_1, z_2, z_3, \dots соответствуют уклонам i_p, i_q, i_r, \dots , на которых расход пара из котла при скорости движения v_m составляет z_1, z_2, \dots с 1 м² поверхности нагрева в час.

Таким образом, может быть получена зависимость $z = \varphi(i)$, которая может быть представлена графически.

Построение кривой $z_k = \varphi(i)$ производится с левой стороны диаграммы, для чего по оси ординат (вверх) откладываются значения i , а по оси абсцисс (влево) — значения $z_k = z_m + z_0$. Для получения значений i достаточно через точки m, n, q, r, \dots провести прямые, параллельные оси zov . На этих прямых влево от оси Oi (OF) откладываются соответствующие значения z_k (в произвольном масштабе). Полученная кривая m, p, q, r, \dots представляет собой зависимость $z_k = \varphi(i)$. Для большего удобства эта кривая переносится на другую диаграмму (ниже оси zov) и строится по осям iOi и Oz (для облегчения дальнейших расчетов можно сразу построить диаграмму $zH = \varphi_1(i)$).

При построении этой второй диаграммы по оси абсцисс откладываются значения — i (влево) и $+i$ (вправо), а по оси ординат — значения $z_k H$ (или $z_k H$). Для построения этой диаграммы значения i и z_k берутся с верхней диаграммы. При построении кривой $z_k = \varphi(i)$ на верхней диаграмме нет надобности определять численные значения i : все построение ведется графическим путем и значения i получаются на чертеже перенесением их с правой части путем проведения горизонтальных линий pp_1, qq_1, mm_1, \dots , при чем масштаб получается в зависимости от принятых масштабов для v и F .

Для построения нижней диаграммы должны быть определены значения i , что может быть произведено следующими двумя способами:

1) Могут быть определены значения i_p, i_q, i_r и отложены в принятом масштабе по оси абсцисс на нижней диаграмме. Значения i_p, i_q, \dots могут быть определены по отрезкам pr, pq, \dots . Эти отрезки, измеренные в масштабе F , представляют собой величины сопротивления поезда на уклонах i_p, i_q, \dots , т. е.:

$$(pr) = (P + Q)(w_0 - i_p);$$

$$(pq) = (P + Q)(w_0 - i_q),$$

$$\dots \dots \dots$$

откуда:

$$-i_p = \frac{(pr)}{(P + Q)} - w_0; \quad -i_q = \frac{(pq)}{(P + Q)} - w_0.$$

Значения z_k в этом случае соответственно будут: z_p, z_q, \dots .

2) Могут быть определены значения z_k , соответствующие уклонам — $i_2, -i_1, i_0, i_1, i_2, \dots$. Сопротивление поезда при v_m , соответствующее значениям i_0, i_1, i_2, \dots , определяется ординатами nb_2, nb_1, no, na, na_2 . Следовательно, точки $b_2, b_1, o, a_1, a_2, \dots$, соответствуют уклонам — $i_2, -i_1, 0, i_1, i_2, \dots$. Проведя через эти точки горизонтальные прямые $b_2b'_2, b_1b'_1, oo', a_1a'_1, \dots$ до пересечения с кривой $p_1q_1m_1, \dots$, получим ряд точек $b'_2, b'_1, o', a'_1, \dots$, соответствующих — $i_2, -i_1, 0, i_1, i_2, \dots$ на этой кривой. Соответствующие зна-

чения z_k определяются абсциссами $\overline{b''_2 b'_2}$, $\overline{b''_1 b'_1}$, $\overline{o' o'}$, $\overline{a''_1 a'_1} \dots$, измеренными в принятом масштабе.

Значения z_k для спусков — i_n и более крутых (левее — i_n) равняются z_0 , что графически выражается горизонтальной прямой $z_0 z_0$.

Значения z_k для уклонов i_m и более трудных (правее i_m) равняются z_k , что графически выражается горизонтальной прямой $z_k z_k$.

Полученная линия $z_0 z_0 z_1 z_2 \dots z_k z_k$ определяет собою зависимость $z = \varphi(i)$. По ней можно определить значение z_k для любого i , при чем эти значения z_k определяют часовой расход пара котлом, отнесенный к 1 м^2 поверхности нагрева. Полный расход пара котлом в час составит $z_k H$, расход пара на единицу длины пути составит $\frac{z_k H}{v}$ кг.

2. Определение расхода пара машиной по расходу пара (u) за один ход поршня

59. Когда значения силы тяги определяются по комбинациям открытия регулятора q и отсечек ε , расчет расхода пара не может быть произведен по указанному выше (в § 58) способу. В этих случаях расход пара может быть определен следующим способом.

В паспортных книжках паровозов имеются данные о расходе пара u за один ход поршня для различных комбинаций q и ε при различных скоростях движения v . Скорости движения получаются для данного профиля путем построения, при чем известны соответствующие комбинации q и ε . Следовательно, в каждый момент можно получить величину расхода пара u за один ход поршня и, зная число ходов поршня в единицу времени, также на протяжении расчетного элемента.

Число ходов поршней цилиндров высокого давления на протяжении ds пути (в км) составляет: $\frac{1\,000\,000x}{\pi D} ds$, где x — число ходов поршней цилиндров высокого давления за один оборот колес, или: $\frac{10^6 \cdot 2n}{\pi D} ds$, где n — число цилиндров высокого давления, так как $x = 2n$.

Расход пара на протяжении ds составит: $\frac{2n \cdot 10^6}{\pi D} \cdot u \cdot ds$, а на протяжении $s_2 - s_1$ расход пара будет равняться:

$$B_m = \frac{2n \cdot 10^6}{\pi D} \int_{s_1}^{s_2} u \cdot ds.$$

Величина $\int_{s_1}^{s_2} u \cdot ds$ представляет собою площадь, ограниченную кривой $u = \varphi(s)$, осью абсцисс и ординатами, соответствующими началу и концу элемента ($s_2 - s_1$).

Следовательно, расчет сводится к построению кривой расхода пара за один ход поршня $u = \varphi(s)$ и определению соответствующей площади.

Для построения кривой $u = \varphi(s)$ для определенного элемента профиля нужно взять из паспортной книжки значения u , соответствующие комбинации q и ε , выбранной для данной точки профиля, и скорости v , полученной для этой же точки предварительным построением кривой $v = \psi(s)$.

Нужно определить несколько значений u и отложить для них соответствующие ординаты, концы которых соединить плавной кривой или прямыми линиями.

Масштаб для значений u может быть выбран произвольно (1 кг пара в p мм). Полученная площадь может быть подсчитана непосредственно или определена планиметром. Разделив полученную площадь в квадратных мил-

лиметрах на $\frac{\xi \cdot m^2}{k} p$ (произведение масштабов пути и расхода пара), получим значение $\int_{s_1}^{s_2} u \cdot ds$, которое нужно помножить на $\frac{2n \cdot 10^6}{\pi D}$. (Можно выбрать масштаб $p_1 = \frac{10^6 \cdot 2n}{\pi D} \cdot \frac{\xi m^2}{k}$ [мм] и делать построение u в этом масштабе p_1 ,

а полученную площадь делить на p , тогда полученный результат даст сразу величину расхода пара на данном элементе профиля в килограммах).

Указанное построение следует делать на том же чертеже, где строятся кривые $v = \psi(s)$ и $t = \chi(s)$, и производить построение одновременно с построением этих кривых, так как в этих случаях сразу будут видны величины займа пара, производящегося у котла, и его пополнение, т. е. сразу будет выяснена возможность осуществления выбранных комбинаций ρ и ε .

Допускаемый расход пара, соответствующий прохождению поездом определенного пути, не должен превышать количества пара, вырабатываемого паровым котлом в среднем за все время работы, плюс допустимый заем.

При работе паровоза с займом у котла работа производится временно без пополнения котла водою, вследствие чего уровень воды в котле понижается. Расход воды не должен превышать допускаемых пределов, при которых уровень воды может быть понижен до 100 мм выше потолка топки.

Для различных типов паровозов запас воды, который может быть израсходован без пополнения, может быть приблизительно принят:

для паровоза сер.	0 . . .	1 430 кг
"	"	" Ы . . . 1 560 "
"	"	" Щ . . . 2 380 "
"	"	" Э . . . 2 340 "
"	"	" Е . . . 2 640 "
"	"	" Θ . . . 1 550 "
"	"	" Н . . . 1 420 "
"	"	" С . . . 2 430 "

3. Упрощенный способ определения расхода воды (при изысканиях железных дорог)

60. При изысканиях железных дорог, когда нет готового проектного профиля, для подсчета расхода воды допускается пользоваться следующим упрощенным способом.

Расход пара на 1 км пути принимается изменяющимся в зависимости от величины уклонов по закону прямой линии в пределах от наибольших уклонов $+i_m$, имеющих на дороге, до уклона i_2 , на котором поезд достигает предельной скорости движения, и от этих уклонов до уклонов i_3 , на которых закрывается регулятор; на более крутых скатах расход пара остается постоянным.

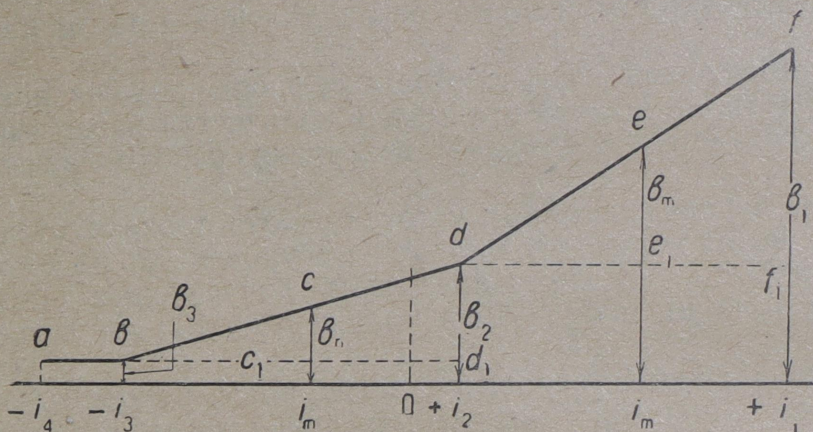
В этом предположении строится диаграмма зависимости расхода пара от уклонов (черт. 40).

Для построения диаграммы должны быть определены ее крайние точки и точки переломов, т. е. значения расхода пара на 1 км пути $b = \frac{z \cdot H}{v}$ для указанных выше уклонов.

Расход пара на каком-либо уклоне i_m измеряется ординатой $b_m = \overline{ei_m} = \overline{ee_1} + \overline{e_1i_m}$. Из чертежа видно, что отрезок $\overline{ee_1} = \frac{\overline{ff_1}}{df_1} \cdot \overline{de_1}$, следовательно: $b_m = \overline{ei_m} = \frac{\overline{ff_1}}{df_1} \cdot \overline{de_1} + \overline{e_1i_m}$; но отрезок $\overline{ff_1}$ соответствует $b_1 - b_2$, отрезок $\overline{df_1}$ соответствует $i_1 - i_2$, отрезок $\overline{de_1}$ соответствует $i_m - i_2$ и отрезок $\overline{e_1i_m} = di_2$ соответствует b_2 ; следовательно:

$$b_m = \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} \cdot (i_m - i_2) + b_2.$$

Таким же способом получаем значение $b_n = \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} (i_n - i_3) + b_3$.



Черт. 40.

Полный расход пара на перегоне АВ составит:

$$B_k = b_3 l_3 + \Sigma \left[b_2 + \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} (i_m - i_2) \right] l_m + \Sigma \left[b_3 + \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} (i_n - i_3) \right] l_n,$$

где l_3 — сумма длин элементов со спусками i_3 и круче, l_m — длины элементов с уклонами между i_1 и i_2 и l_n — длины элементов с уклонами между i_2 и i_3 .

Раскрывая скобки и заменяя $i_m l_m$ и $i_n l_n$ равными им величинами h_m и h_n , где h_m и h_n — разность отметок конечной и начальной точек элементов l_m и l_n , получим:

$$\begin{aligned} B_k &= b_3(l_3 + \Sigma l_n) + b_2 \Sigma l_m - \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 \Sigma l_m - \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} i_3 \Sigma l_n + \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} \Sigma h_m + \\ &+ \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} h_n = b_3 l_3 + \left[b_3 - \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} i_3 \right] \Sigma l_n + \left[b_2 - \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 \right] \Sigma l_m + \\ &+ \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} \Sigma h_m + \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} h_n. \end{aligned}$$

В этом выражении величины $b_1, b_2, b_3, i_1, i_2, i_3$ известны и определены. Обозначая

$$\left[b_3 - \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} i_3 \right] = n; \quad \left[b_2 - \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 \right] = m; \quad \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} = p \quad \text{и} \quad \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} = q,$$

получим:

$$B_k = b_3 l_3 + m \Sigma l_m + n \Sigma l_n + p \Sigma h_m + q \Sigma h_n.$$

Коэффициенты m, n, p и q должны быть заранее подсчитаны.

4. Определение расхода воды по водяному виртуальному коэффициенту

61. При приближительных подсчетах расхода воды допускается производить расчет в предположении, что расход воды зависит только от крутизны уклонов. Если обозначим расход воды на один километр горизонтального прямого пути буквой b_0 , расход воды на один километр элемента с уклоном i — буквой b_i , то отношение $\frac{b_i}{b_0} = \varphi_i$ называется водяным виртуальным коэффициентом.

Если перегон L состоит из отдельных элементов l с различными уклонами i , то полный расход воды на перегоне L составит:

$$B = \sum b_i l = \sum b_0 \varphi_i l = b_0 \sum \varphi_i l = b_0 L \varphi,$$

где $\varphi = \frac{\sum \varphi_i l}{L}$ представляет собою водяной виртуальный коэффициент всего перегона.

Из приведенного уравнения $B = b_0 L \varphi$ получаем: $\varphi = \frac{B}{b_0 L}$, т. е. водяной виртуальный коэффициент представляет собою отношение полного расхода воды на перегоне длиной L к расходу воды на горизонтальном прямом пути протяжения L . Зная водяной виртуальный коэффициент φ какого-либо перегона длиной L , расход воды для этого перегона получим путем помножения величины расхода воды b_0 для какого-либо состава поезда на 1 км горизонтального прямого пути на водяной виртуальный коэффициент φ для данного перегона и на длину L этого перегона.

Водяной виртуальный коэффициент должен быть определен для всех перегонов по точному способу расчета расхода воды для наиболее ходовой на участке серии паровоза с обычным для него весом состава.

12. Определение расхода топлива и электрической энергии

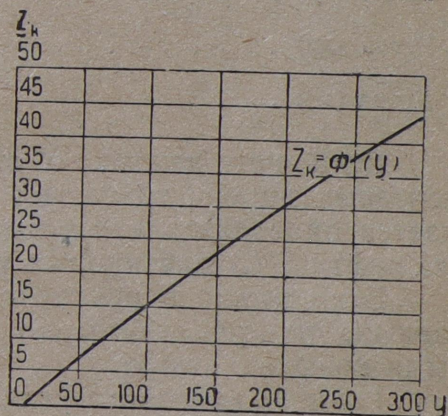
А. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ПАРОВОЗАМИ

62. Расход топлива паровозом складывается из двух величин:

- 1) из расхода топлива для парообразования;
- 2) из расхода топлива для возмещения потерь тепла через обшивку.

Расход топлива для парообразования определяется соответственно расходу пара на основании зависимости интенсивности парообразования от интенсивности горения $z = \phi(y)$, которая в виде диаграмм помещается в паспортных книжках (черт 41).

Рекомендуется эту зависимость определять на дорогах опытным путем. Если для данного паровоза такой кривой не имеется, то ее можно построить по кривой для другого паровоза подходящего типа в предположении, что для обоих паровозов зависимости коэффициента полезного действия котла η_k и теплосодержания пара от интенсивности горения y одинаковы. Для этого желательно выбирать для сравнения паровозы, возможно близко стоящие друг к другу по перегреву пара и отношению поверхности нагрева к площади колосниковой решетки. Для построения кривой $z_k = \phi(y)$ должны быть изменены масштабы ординат z_k помножением их на произведение отношений поверхности нагрева исходного паровоза H_0 к поверхности нагрева данного паровоза H и площади колоснико-



Черт. 41.

вой решетки данного паровоза R к площади колосниковой решетки исходного паровоза R_0 :

$$(z_{\kappa}) = (z_{\kappa})_0 \cdot \frac{H_0 \cdot \lambda_0 \cdot R}{H \cdot \lambda \cdot R_0},$$

где λ и λ_0 — теплосодержания пара.

Так как зависимость $z = \phi(y)$, помещенная в паспортной книжке паровоза, определяется по среднему расходу пара и топлива за всю поездку и весьма мало отличается от прямой линии, то при расчете расхода топлива следует брать расход топлива по средней интенсивности парообразования.

Определение расхода топлива на парообразование производится в следующем порядке:

- 1) определяется расход пара котлом $B_{\kappa} = \Sigma z_{\kappa} H t$;
- 2) определяется средняя интенсивность парообразования котла в единицу времени (в час):

$$z_{\kappa \text{ ср}} = \frac{B_{\kappa}}{H T} = \frac{\Sigma z_{\kappa} H t}{H T};$$

- 3) по диаграмме (черт. 41) определяется соответствующее значение средней интенсивности горения y ;

- 4) определяется расход топлива для парообразования $E = y_c R T$.

При наличии на паровозе подогревателя питательной воды расход топлива для парообразования может быть понижен до 10 %.

Расход топлива на возмещение потерь тепла во время работы паровоза входит в значение расхода топлива для парообразования, так как зависимость $z = \phi(y)$ получается опытным путем из учета всего расхода топлива. Расход топлива на возмещение потерь тепла на стоянках, составляющий $E_0 = y_0 R T_0$, рекомендуется определять путем опыта. Если опытных данных нет, то можно принимать для дорог средней полосы СССР расход топлива в час, указанный в таблице 20.

Т а б л и ц а 20

Р о д т о п л и в а	3-, 4- и 5-осные паровозы		6-осные паровозы	
	зимой	летом	зимой	летом
Нефть (кг)	14,7	11,5	16,4	13,1
Уголь (кг)	24,6	19,7	27,8	21,3
Дрова (м³)	0,121	0,097	0,146	0,121

Если нет данных о времени простоя паровозов (для строящихся железных дорог), то расход топлива на возмещение потерь тепла разрешается определять добавлением к расходу топлива для парообразования: для нефти 5%, для курных углей 10%, для дров 15% и для антрацита 20%.

Если нужно перейти от одного рода топлива к другому и нет точных данных, то приблизительно можно пользоваться следующими эквивалентными коэффициентами:

1 тонна донецкого угля $\cong 0,527$ тонны нефти $\cong 4,744$ м³ сухих смешанных дров.

Б. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ТОПЛИВА ТЕПЛОВОЗАМИ

63. Расход нефти тепловозами складывается из расхода нефти главным двигателем (C_0 кг/ч) и двигателем холодильника (C_e кг/ч).

Расход нефти двигателем холодильника при правильной работе вентилятора есть величина постоянная.

Расход нефти главным двигателем зависит от числа оборотов z и подачи горючего ε , т. е.: $C_o \text{ кг/ч} = f(z, \varepsilon)$. Эта зависимость определяется опытным путем и дается в виде кривых.

Для определения расхода нефти нужно знать, при каких комбинациях z и ε осуществляется сила тяги F_k при работе тепловоза. Соответственно этим комбинациям для различных промежутков времени нужно взять по диаграмме значения $C_o \text{ кг/ч}$ и помножить их на соответствующие промежутки времени t .

В. ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАСХОДА ЭЛЕКТРИЧЕСКОЙ ЭНЕРГИИ ЭЛЕКТРОВОЗАМИ ¹

64. Точное определение расхода электрической энергии за определенный промежуток времени t должно производиться интегрированием по времени мощности, потребляемой электровозом в движении.

Расход электрической энергии на токоприемнике электровоза выражается следующим уравнением:

$$S = \int_0^t a_1 b_1 I_s E_{np} dt = a_1 \int_0^t b_1 I_s E_{np} dt,$$

где S — расход электрической энергии электровозом, I_s — сила тока электровоза, E_{np} — средняя величина напряжения тока в электрическом проводе. Значения a_1 и b_1 приведены в таблице 21.

Т а б л и ц а 21

Р о д т о к а	a_1	b_1
Постоянный	1	1
Однофазный	1	Коэф. мощности $\cos \varphi$.
Трёхфазный	$\sqrt{3}$	Коэффициент мощности $\cos \varphi$.

Сила тока электровоза I_s и коэффициент мощности b_1 определяются из электродинамической характеристики электровоза для соответствующих комбинаций включения моторов. Интегрирование расхода электрической энергии может быть произведено графическим путем. В том случае, когда не требуется особой точности расчетов, средний расход электрической энергии на токоприемнике электровоза, отнесенный к одному тонно-километру пробега определенного участка длиной $L \text{ км}$, может быть определен по формуле:

$$S_o = \frac{1000 (w_o \pm \Sigma i_k)}{367 \eta_s} + \frac{v^2 H}{103 L \eta_s} \left[\frac{\text{ватт-час}}{\text{тонно-километр}} \right],$$

где $\pm \Sigma i$ — сумма приведенных подъемов и спусков — определяется для какого-либо одного направления, H — число остановок, $\eta_s = \eta_e \cdot \eta_m = 0,75$ до $0,8$, η_e — коэффициент отношения эффективной мощности к мощности тока, потребляемого электровозом, и η_m — механический коэффициент.

Расход электрической энергии на первичных шинах подстанции, отнесенный к одному тонно-километру: $S_n = \frac{S_o}{\eta_e \eta_n}$, где S_o — удельный расход

¹ Основным материалом для этого параграфа послужил проект технических условий производства тяговых расчетов электрической тяги, составленный секцией электрификации Научно-исследовательского института МИИТ.

электрической энергии на токоприемнике электровоза, η_c — коэффициент полезного действия рабочей сети, η_n — коэффициент полезного действия подстанции. При отсутствии точных данных можно принимать $\eta_c = 0,9$ до 0,95. Значения η_n указаны в таблице 22.

Т а б л и ц а 22

Т и п п о д с т а н ц и и	η_n
Трансформаторные подстанции переменного тока.	0,9
Подстанции, оборудованные ртутными выпрямителями	0,9
То же — одноякорным преобразователем или каскадным преобразователем	0,85
То же — моторгенератором	0,80

Полный расход электрической энергии в год: $S = \frac{s_n \cdot T}{1000}$, где T — годовой пробег (в тонно-километрах).

13. Определение механической работы локомотива и виртуального коэффициента по механической работе

65. Основным измерителем работы локомотива (как силовой станции) является механическая работа локомотива. Механическая работа локомотива выражается произведением силы (тяги) на пройденный путь или равным ему произведением силы сопротивления поезда на пройденный путь:

$$N = \Sigma F \cdot l = \Sigma W \cdot l = \Sigma w(P + Q)l = (P + Q)\Sigma w \cdot l.$$

Следовательно, определение полной величины механической работы локомотива сводится к определению $\Sigma w l$, что представляет собою механическую работу на перемещение одной тонны веса поезда (удельная механическая работа).

Так как подсчитывать в каждом случае $\Sigma w l$ затруднительно, то эту величину лучше заменить средним значением сопротивления участка w_{cp} , которое может быть определено из выражения: $w_{cp} L = \Sigma w l$, откуда:

$$w_{cp} = \frac{\Sigma w \cdot l}{L}.$$

Если w_{cp} для данного участка (или перегона) определено, то механическая работа по перемещению поезда составит: $(P + Q)Lw_{cp}$. Значение $(P + Q)L$ тонно-километров брутто можно получить из технической отчетности.

Для определения w_{cp} нужно определить значения w для всех элементов профиля, подсчитать произведения $w \cdot l$ и взять сумму $\Sigma w l$. Значения w можно получить подсчетом или из диаграммы $w = f(i)$, построение которой затруднений не представляет.

При движении поезда на уклонах с закрытым регулятором фактически работа машины равна нулю, но так как и на этих элементах профиля происходит расход пара и топлива, то и в этих случаях следует учесть работу, хотя этот учет и будет условным. Работу на этих элементах можно принять по сравнению расхода топлива на этих элементах с расходом топлива на горизонтальном прямом участке.

Расход топлива определяется по расходу его на парообразование и на поддержание теплового равновесия.

Если расход топлива на горизонтальном прямом участке определится Y'_1 , а расход топлива на уклоне при закрытом регуляторе в час определится Y'_2

и соответствующие скорости движения будут v_1 и v_2 , то расход топлива на 1 км на горизонтальном прямом элементе профиля составляет: $Y_1 = Y'_1 \frac{1}{v_1}$, а на уклоне при закрытом регуляторе: $Y_2 = Y'_2 \frac{1}{v_2}$; отношение расходов топлива получится равным: $\frac{Y_2}{Y_1} = \frac{Y'_2}{Y'_1} \cdot \frac{v_1}{v_2}$. Механическая работа локомотива на 1 км пути на уклоне с закрытым регулятором:

$$N_2 = N_1 \frac{Y'_2}{Y'_1} \cdot \frac{v_1}{v_2} = N_1 \frac{Y_2}{Y_1} = w_0 (P + Q) \frac{Y_2}{Y_1}.$$

Измеритель полученной таким образом механической работы N выражается в следующих единицах:

$$N = (P + Q) [m] L [км] w_{cp} [кг/м] = (P + Q) L w_{cp} \left[\frac{м \cdot км \cdot кг}{м} \right] = \\ = (P + Q) L w_p [1\ 000\ кг\ и],$$

т. е. в тысячах килограммо-метров.

Среднее сопротивление участка должно быть определено отдельно для каждого направления для товарных и пассажирских поездов. Этот коэффициент остается постоянным до тех пор, пока не изменится существенно скорость движения, т. е. может быть определен на весьма продолжительный срок (на несколько лет).

66. Среднее сопротивление дает возможность легко определить виртуальный коэффициент профиля α_v , виртуальную длину l_v и эквивалентный уклон i_v , понимая под этими наименованиями следующие определения:

1) виртуальный коэффициент по механической работе есть отношение расхода механической работы на 1 т-км брутто на данном профиле к расходу механической работы на 1 т-км брутто на прямом горизонтальном пути;

2) виртуальной длиной участка называется такая длина горизонтального прямого пути, на котором механическая работа по передвижению поезда равняется механической работе по передвижению поезда по данному участку с соответствующими средними скоростями;

3) эквивалентным уклоном участка называется такой однородный уклон участка той же длины, что и данный, механическая работа на котором по передвижению поезда равняется механической работе по передвижению поезда по данному участку с соответствующими скоростями.

Величины α_v , l_v и i_v определяются следующим образом.

Работа по передвижению 1 т веса поезда брутто по данному участку составляет $w_{cp} L$; работа по передвижению 1 т поезда по виртуальному участку составит $w_0 l_v$ и по участку длиной L с эквивалентным уклоном i_v — $(w_0 \pm i_v) L$. Так как по самому определению виртуальной длины и эквивалентного уклона работа на данном участке должна быть равна работе на виртуальном участке и на участке с эквивалентным уклоном, то:

$$w_{cp} L = w_0 l_v = (w_0 \pm i_v) L,$$

откуда:

$$l_v = L \frac{w_{cp}}{w_0}; \quad \pm i_v = (w_{cp} - w_0) \text{ и } \alpha_v = \frac{w_{cp}}{w_0} = \frac{l_v}{L}.$$

67. Научно-технический комитет НКПС предложил несколько упрощенный способ подсчета виртуального коэффициента и виртуальной длины. При этом способе основное удельное сопротивление принимается для всех элементов равным средней величине, которая принята в $3\ кг/м$, и сопротивление на скатах круче — $i = -3$ принято равным нулю.

При этих допущениях виртуальный коэффициент элемента:

$$\alpha_s = \frac{(w_0 + i) + \frac{13\Sigma\alpha^\circ}{l}}{w_0} = \frac{3 + i + \frac{13\Sigma\alpha^\circ}{l}}{3},$$

где $\Sigma\alpha^\circ$ — сумма центральных углов всех кривых, находящихся в пределах элемента длиной l (в метрах).

Виртуальный коэффициент участка длиной L (в метрах):

$$\alpha_s = \frac{\Sigma l \alpha_s}{L} = \frac{\Sigma l (3 + i) + 13\Sigma\alpha^\circ}{3L}.$$

Обозначая длину всех элементов со спусками круче $-i = -3$ (вредные уклоны) через Σl_{ep} , получим: $\Sigma l + \Sigma l_{ep} = L$, откуда $\Sigma l = L - \Sigma l_{ep}$, и имея в виду, что $il = 1000h = \pm 1000H + 1000\Sigma h_{ep}$, где h — абсолютная разность отметок (в метрах) конечного и начального пунктов элементов с уклонами i , H — абсолютная разность отметок (в метрах) конечного и начального пунктов участка ($\pm 1000H$ берется со знаком $+$ в тех случаях, если конечный пункт выше начального, и со знаком $-$ в тех случаях, если конечный пункт ниже начального) и Σh_{ep} — сумма абсолютных разностей отметок (в метрах) конечных и начальных пунктов элементов с вредными спусками, получим:

$$\alpha_s = \frac{[3(L - \Sigma l_{ep}) \pm 1000H + 1000\Sigma h_{ep} + 13\Sigma\alpha^\circ]}{3L},$$

где $\Sigma\alpha^\circ$ — сумма центральных углов в градусах всех кривых элементов профиля с подъемами и спусками от $-i =$ от 0 до -3 включительно.

14. Спрямление профиля

68. Вследствие влияния живой силы поезда и длины его изменение скорости движения при переходе поезда с одного элемента профиля на другой происходит плавно, постепенно. Вследствие влияния длины поезда общее сопротивление его на ломаном профиле равняется сопротивлению поезда, находящемуся как бы на элементе профиля с уклоном, являющимся промежуточным между уклонами элементов, на которых поезд действительно находится. Эти обстоятельства дают основание производить тяговые расчеты в некоторых случаях не по действительному профилю, а по профилю, в котором несколько элементов с различными уклонами заменены одним фиктивным элементом с однородным уклоном (черт. 45). Такое объединение нескольких элементов, предложенное Чечеттом, называется спрямлением профиля; оно упрощает тяговые расчеты.

Уклон спрямленного профиля получается делением разницы отметок крайних точек спрямляемого участка на длину участка $\left(\frac{h_2 - h_1}{l}\right)$ с прибавлением влияния кривых.

Влияние кривых определяется следующим образом. При проходе по кривой радиуса R поезд преодолевает дополнительное удельное сопротивление $\frac{750}{R}$. Работа локомотива, идущая на преодоление этого сопротивления, равняется величине сопротивления, помноженной на длину пройденного пути, т. е. на длину кривой, которая составляет $\frac{2\pi Ra}{360}$, где α — центральный угол кривой (в градусах). Следовательно, работа равна:

$$\frac{750}{R} \cdot \frac{2\pi Ra}{360} = \frac{750 \cdot 2\pi a}{360} = 13,1\alpha.$$

Если заменить сопротивление кривой равномерным уклоном по всему спрямляемому участку, сопротивление которого составит w_r , то работа паровоза составит $w_r l$, которая должна быть равна прежде полученной величине, т. е.: $w_r l = 13,1\alpha$, откуда $w_r = \frac{13,1\alpha}{l}$.

Общее значение уклона спрямленного участка будет равно:

$$i_c = \frac{1000(h_2 - h_1) + 13,1\Sigma\alpha}{l},$$

где l — длина спрямленного участка в метрах, h — отметки профиля, выраженные в метрах, и $\Sigma\alpha$ — сумма центральных углов (в градусах) всех кривых, находящихся в пределах спрямляемого участка.

Спрямление профиля должно производиться с таким расчетом, чтобы ошибка при производстве тяговых расчетов по спрямленному профилю не нарушала допускаемой при расчете степени точности.

Правилами для производства тяговых расчетов НКПС рекомендуется производить спрямление участков, длина l отдельных элементов которых удовлетворяет формулам: $l \leq \frac{5000}{\Delta i}$ м при приблизительных расчетах и $l \leq \frac{2000}{\Delta i}$ м

при точных расчетах, где Δi — абсолютная разность между уклоном спрямляемого участка и уклоном данного элемента в тысячных. Эти формулы весьма удобны по своей простоте, но имеют некоторые недостатки: они дают длину спрямляемого элемента независимо от общей длины спрямленного участка и от величины его уклона; ошибка, получаемая при таком спрямлении, может достигнуть значительной величины, при чем степень точности расчета остается неизвестной.

Проверку правильности спрямления профиля следует производить путем выяснения ошибки подсчета времени прохода пути по спрямленному профилю и механической работы локомотива, от которого зависит расход воды и топлива.

При известном навыке спрямление профиля может производиться без поверочных подсчетов, при чем следует спрямлять элементы с мало отличающимися уклонами без искажения общего характера профиля. Более точная проверка может быть произведена, как указано ниже.

1. Выяснение и подсчет ошибки при определении времени хода поезда по спрямленному профилю

Предположим, что имеем участок пути длиной l (черт. 45), состоящий из элементов l_1, l_2, \dots, l_n , уклоны которых соответственно составляют i_1, i_2, \dots, i_n , где i могут быть положительными и отрицательными величинами. При спрямлении профиля на всю длину участка l получим значение уклона спрямляемого участка:

$$i_c = \frac{1000(h_2 - h_1)}{l} = \frac{i_1 l_1 + i_2 l_2 + \dots + i_n l_n}{l} = \frac{\sum_{i=1}^n i_n l_n}{l}.$$

Времена прохода поездом 1 км на различных элементах данного участка соответственно будут равны t_1, t_2, \dots, t_n и по спрямленному профилю равны t . Полное время прохода поезда по всему участку составляет по спрямленному профилю tl , а по действительному $t_1 l_1 + t_2 l_2 + \dots + t_n l_n$. Разница во времени равняется: $tl - (t_1 l_1 + t_2 l_2 + \dots + t_n l_n)$.

Если мы желаем спрямить профиль с таким расчетом, чтобы не допустить ошибки сверх известной нормы, то должны выполнить условие: $tl - (t_1 l_1 + t_2 l_2 + \dots + t_n l_n) \leq (0,01p) tl$, где p — допускаемая величина ошибки (в процентах). Значение этой ошибки определяется из приведенного уравнения и составляет:

$$0,01p = \frac{tl - (t_1 l_1 + t_2 l_2 + \dots + t_n l_n)}{tl}.$$

Преобразуем это уравнение следующим образом:

$$\begin{aligned}
 0,01p &= \frac{t(l_1 + l_2 + \dots + l_r) - (t_1 l_1 + t_2 l_2 + \dots + t_r l_r)}{tl} = \\
 &= \frac{(tl_1 + tl_2 + \dots + tl_r) - (t_1 l_1 + t_2 l_2 + \dots + t_r l_r)}{tl} = \frac{l_1(t - t_1) + l_2(t - t_2) + \dots + l_r(t - t_r)}{tl} = \\
 &= \frac{l_1 \left(\frac{t - t_1}{t} \right) + l_2 \left(\frac{t - t_2}{t} \right) + \dots + l_r \left(\frac{t - t_r}{t} \right)}{l} = \frac{\sum_1^r l_n \left(\frac{t - t_n}{t} \right)}{l} \quad (I)
 \end{aligned}$$

Это выражение представляет собою величину ошибки подсчета времени по спрямленному профилю. Если время пробега отдельных элементов будет определено по способу допущения установившихся скоростей движения, то действительная ошибка вследствие влияния длины и инерции поезда будет несколько меньше приведенного выражения; следовательно, подсчет ошибки по формуле (I) будет произведен с некоторым запасом точности. Множитель $\frac{t - t_n}{t}$ представляет собой отношение разницы времени прохода поездом 1 км пути по спрямленному профилю уклона i_c и по действительному элементу уклона i_n к времени прохода 1 км пути по спрямленному профилю.

Эта величина при прочих одинаковых условиях зависит от величины $i_c - i_n$. Обозначим отношение $\left(\frac{t - t_n}{t} \right)$ буквой a_n ; тогда получим:

$$\frac{\left(\frac{t - t_n}{t} \right)}{(i_c - i_n)} = a_n,$$

лучим:

$$\left(\frac{t - t_n}{t} \right) = a_n (i_c - i_n).$$

Подставив эту величину в уравнение (I), получим:

$$0,01p = \frac{\sum_1^r l_n a_n (i_c - i_n)}{l}. \quad (II)$$

Для того, чтобы выявить зависимость p от различных условий работы, возьмем самый простой случай спрямления профиля участка, состоящего из двух элементов l_1 и l_2 с уклонами i_1 и i_2 (черт. 42).

$$\begin{aligned}
 \text{Длина всего участка: } l &= l_1 + l_2, \text{ уклон спрямленного участка: } 0,001i_c = \frac{h}{l} = \frac{h_1 + h_2}{l_1 + l_2} = \\
 &= \frac{0,001i_1 l_1 + 0,001i_2 l_2}{l_1 + l_2}, \text{ или: } i_c = \frac{i_1 l_1 + i_2 l_2}{l_1 + l_2}.
 \end{aligned}$$

Для данного случая уравнение (II) принимает вид:

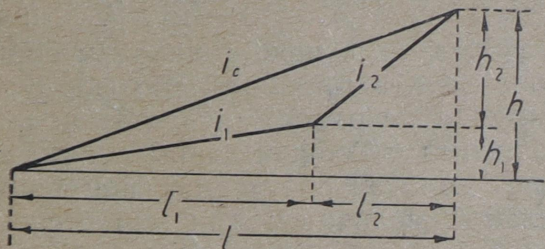
$$0,01p = \frac{l_1 a_1 (i_c - i_1) + l_2 a_2 (i_c - i_2)}{l}.$$

Заменив величину l_2 равной ей $l - l_1$ и i_2 равной ей $\frac{i_c l - i_1 l_1}{l - l_1}$, получим:

$$0,01p = \frac{l_1 a_1 (i_c - i_1) + (l - l_1) a_2 \left[i_c - \frac{i_c l - i_1 l_1}{l - l_1} \right]}{l} =$$

Черт. 42.

откуда:



$$\begin{aligned}
 &= \frac{l_1 \alpha_1 (i_c - i_1) + (l - l_1) \alpha_2 \left[\frac{l i_c - l_1 i_1 - l i_c + l_1 i_1}{l - l_1} \right]}{l} = \frac{l_1 \alpha_1 (i_c - i_1) + \alpha_2 (-l_1 i_c + l_1 i_1)}{l} = \\
 &= \frac{l_1 \alpha_1 (i_c - i_1) - \alpha_2 l_1 (i_c - i_1)}{l} = \frac{l_1}{l} (\alpha_1 - \alpha_2) (i_c - i_1)
 \end{aligned} \quad (III)$$

Это выражение может быть представлено также в другом виде. Определим значение l_1 из уравнений $l = l_1 + l_2$ и $l i_c = l_1 i_1 + l_2 i_2$ в виде зависимости его от длины всего спрямленного участка и значения уклонов. Из первого уравнения имеем: $l_2 = l - l_1$. Подставив это значение во второе уравнение, получим: $l i_c = l_1 i_1 + (l - l_1) i_2 = l_1 i_1 + l i_2 - l_1 i_2$, или: $l_1 (i_1 - i_2) = l (i_c - i_2)$, откуда: $l_1 = l \frac{(i_c - i_2)}{(i_1 - i_2)}$.

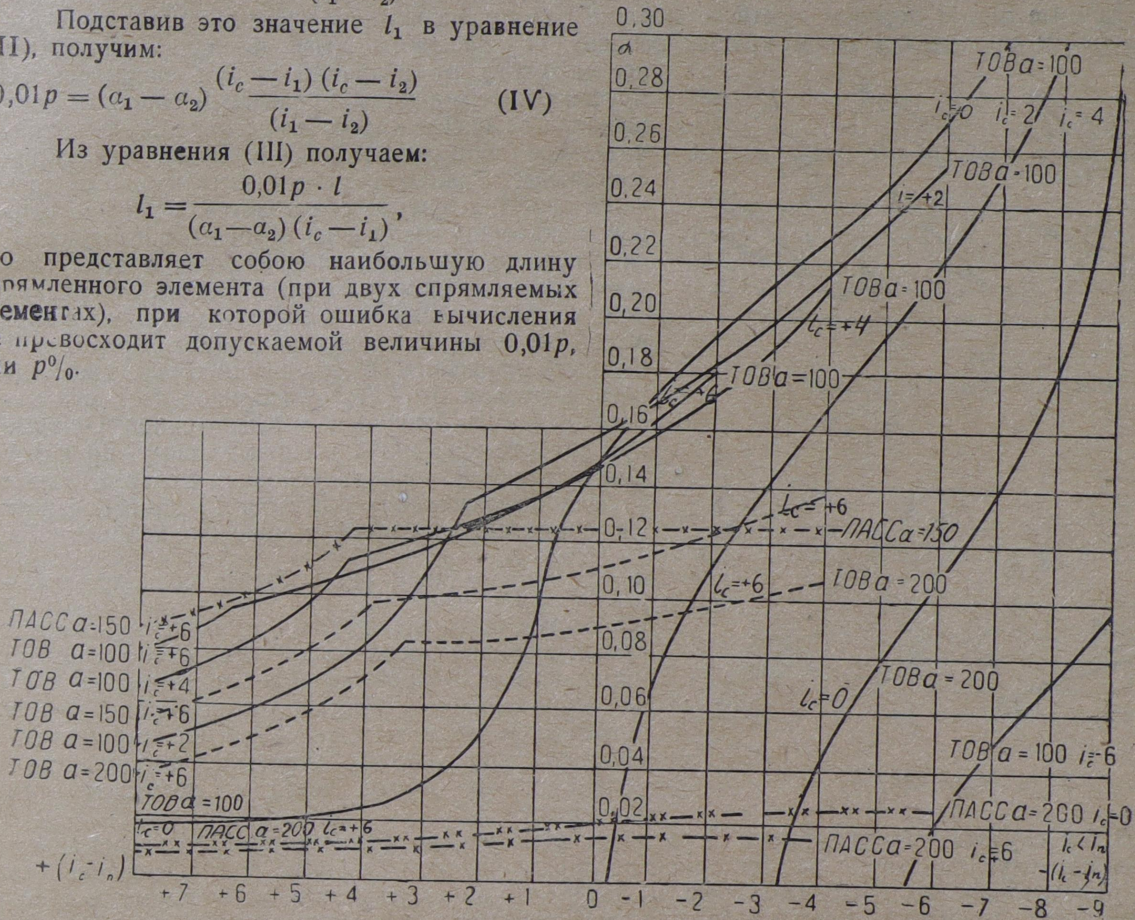
Подставив это значение l_1 в уравнение (III), получим:

$$0,01p = (\alpha_1 - \alpha_2) \frac{(i_c - i_1)(i_c - i_2)}{(i_1 - i_2)} \quad (IV)$$

Из уравнения (III) получаем:

$$l_1 = \frac{0,01p \cdot l}{(\alpha_1 - \alpha_2)(i_c - i_1)},$$

что представляет собою наибольшую длину спрямленного элемента (при двух спрямляемых элементах), при которой ошибка вычисления не превосходит допускаемой величины 0,01p, или p‰.



Черт. 43.

Это выражение имеет с формулами $l \leq \frac{5000}{\Delta i}$ и $l \leq \frac{2000}{\Delta i}$ общий множитель в знаменателе $(i_c - i_1) = \Delta i$, но другой множитель, постоянный во вторых формулах (5000 или 2000) заменяется величиной $\frac{0,01p \cdot l}{(\alpha_1 - \alpha_2)}$, что указывает на зависимость допускаемой длины элементов спрямляемого участка не только от величины $i_c - i_1$ при заданном p , но также и от длины l всего спрямляемого участка и величины $\frac{1}{(\alpha_1 - \alpha_2)}$.

Для выяснения влияния величины $\alpha_1 - \alpha_2$ на величину ошибки на чертеже 43 представлена диаграмма значений α для различных значений спрямленного профиля i_c и использования мощности локомотивов:

$$\alpha = \frac{F \cdot v}{(F + Q)} = 270 \frac{270}{(P + Q)} = \frac{Fv}{(P + Q)} = \frac{Wv}{(P + Q)} = \frac{(w_0 + i)(P + Q)v}{(P + Q)} = (w_0 + i) \cdot v.$$

Примечание. Диаграмма построена применительно к силе тяги товарного паровоза сер. О^в при $z = 30$ и пассажирского паровоза сер. С при $z = 40$. В некоторых других случаях правые концы кривых α немного наклонены в обратную сторону.

По оси абсцисс отложены значения $i_c - i_1$ (вправо для случаев $i_c < i_1$ и влево для $i_c > i_1$), а по оси ординат значения α .

Так как величина ошибки в подсчете времени равняется $0,01pt = l_1 t (i_c - i_1) (\alpha_1 - \alpha_2)$, т. е. зависит от величины $(\alpha_1 - \alpha_2)$, то при спрямлении профиля имеет значение не абсолютная величина α , а разность $(\alpha_1 - \alpha_2)$, что определяется наклоном кривых α .

В тех случаях, когда кривые поднимаются слева направо, значения α для трудных элементов профиля больше, чем для легких.

Примечание. Такой вид кривые имеют в большинстве случаев. В исключительных случаях правые концы кривых α на небольшом протяжении немного наклоняются в обратную сторону.

Кривые имеют перелом, соответствующий уклону, на котором поезд достигает предельной скорости движения. Наклон кривых зависит от значений α (использования мощности локомотивов), от величины уклона спрямляемого профиля и от величины предельной скорости движения. Для пассажирских поездов кривые на значительном протяжении весьма пологи или горизонтальны. Величина уклона спрямленного профиля особенно сильно сказывается, если он близок к значению уклона, на котором поезд достигает предельной скорости движения; в этих случаях точка перелома находится близко от средней оси и, следовательно, элементы профиля с уклонами, на которых поезд достигает предельной скорости движения, будут значительно увеличивать значения $(\alpha_1 - \alpha_2)$. Сказанное дает возможность вывести следующее заключение. Ошибка при расчете времени по спрямленному профилю при одинаковых прочих условиях будет меньше: 1) для пассажирских поездов, 2) при больших значениях использования мощности локомотивов:

$$\alpha = \frac{270 \cdot N}{(P + Q)} = (w_0 + i) v \text{ и } 3) \text{ для больших уклонов.}$$

Следовательно, в этих случаях спрямление профиля можно производить более смело. Ошибка при спрямлении профиля будет значительна, если на спрямленном участке одновременно будут встречаться элементы с уклонами, на которых поезд идет с предельной скоростью, и элементы с уклонами, на которых поезд не достигает этой скорости.

В тех случаях, когда кривые α поднимаются вправо (что имеет место в громадном большинстве случаев), время, подсчитанное по спрямленному профилю, будет меньше, чем время, подсчитанное по действительному профилю, что подтверждается следующими соображениями. При спрямлении профиля из двух элементов могут встретиться комбинации, указанные на чертеже 44. Во всех этих случаях (при условии подъема кривых, т. е. увеличения значений α в сторону более тяжелых элементов профиля) могут получиться комбинации множителей $(i_c - i_1)$ и $(\alpha_1 - \alpha_2)$, указанные в таблице 23.

Таблица 23

	$i_c - i_1$	i_1 и i_2	α_1 и α_2	$\alpha_1 - \alpha_2$
1	$i_c - i_1 > 0$	$i_1 < i_2$	$\alpha_1 < \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 < 0$
2	$i_c - i_1 = i_c - 0 > 0$	$i_1 < i_2$	$\alpha_1 < \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 < 0$
3	$i_c - (-i_1) = i_c + i_1 > 0$	$-i_1 < i_2$	$\alpha_1 < \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 < 0$
4	$i_c - i_1 < 0$	$i_1 > i_2$	$\alpha_1 > \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 > 0$
5	$i_c - i_1 < 0$	$i_1 > i_2$	$\alpha_1 > \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 > 0$
6	$i_c - i_1 < 0$	$i_1 > i_2$	$\alpha_1 > \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 > 0$
7	$i_c - i_0 < 0$	$i_1 > -i_2$	$\alpha_1 > \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 > 0$
8	$i_c - (-i_1) = i_c + i_1 > 0$	$-i_1 < i_2$	$\alpha_1 < \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 < 0$
9	$(-i_c) - (-i_1) = i_1 - i_c < 0$	$-i_1 > -i_2$	$\alpha_1 > \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 > 0$
10	$(-i_c) - (i_1) < 0$	$i_1 > -i_2$	$\alpha_1 > \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 > 0$
11	$(-i_c) - i_1 = -i_c - i_1 < 0$	$i_1 > -i_2$	$\alpha_1 > \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 > 0$
12	$(-i_c) - (-i_1) = i_1 - i_c > 0$	$-i_1 < -i_2$	$\alpha_1 < \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 < 0$
13	$(-i_c) - (-i_1) = i_1 - i_c > 0$	$-i_1 < i_2$	$\alpha_1 < \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 < 0$
14	$(-i_c) - (-i_1) = i_1 - i_c > 0$	$-i_1 < i_2$	$\alpha_1 < \alpha_2$	$\alpha_1 - \alpha_2 < 0$

Черт. 44.

Как видно из этой таблицы, при всех комбинациях знаки множителей $(i_c - i_1)$ и $(a_1 - a_2)$ различны, т. е. всегда $0,01pl_t = l_1 t (i_c - i_1) (a_1 - a_2)$ будет величиной отрицательной.

Очевидно, что это справедливо также и для участка со многими элементами, так как, соединяя элементы попарно, мы для каждой пары будем иметь выполненным это условие. Соединяя затем попарно вновь полученные элементы (от соединения первоначальных элементов), опять будем иметь выполненным это условие и так будет продолжаться до полного спрямления профиля, т. е. вообще время прохода поездом участка с одинаковым уклоном будет меньше времени прохода поездом такого же участка, но с ломаным профилем (при условии увеличения значения α в сторону более трудных элементов профиля).

Уравнение $0,01p = \frac{\sum l_n \alpha_n (i_c - i_n)}{l}$ указывает, что, не меняя величины ошибки, можно

в пределах спрямляемого профиля переменить порядок элементов, так как сумма от перемены порядка слагаемых не изменится. Точно так же можно соединять элементы с одинаковыми уклонами и, наоборот, элементы с какими-либо уклонами можно расчленить на несколько элементов, разместив полученные части в любом месте спрямляемого участка.

Указанные свойства спрямляемого профиля дают возможность определить пределы, между которыми заключается ошибка.

Предположим, что мы имеем профиль $AcdefghjB$ (черт. 45). Разместим элементы в порядке постепенно убывающих значений i ; тогда получим профиль $a_1c_1d_1e_1f_1g_1h_1j_1b_1$. Ошибка в определении времени по спрямленному профилю уклона i_c по сравнению с действительным временем в обоих случаях будет одинакова. Продолжая во втором профиле крайние элементы с уклонами i_3 и i_m до пересечения их в точке k , получим профиль $a_1c_1d_1e_1f_1g_1h_1j_1b_1$. Разобьем элементы a_1k и kb_1 на части и перенесем их параллельно самим себе, как показано на черт. 45, чтобы получить профиль: $a_1c_1md_1ne_1pf_1qg_1rh_1sj_1b_1$, в котором $a_1c_1 + c_1m + d_1n + e_1p + f_1q + h_1s = a_1k$ и $md_1 + ne_1 + pf_1 + qg_1 + rh_1 + sj_1 + j_1b_1 = kb_1$. Следовательно, ошибка при вычислении времени по профилю $a_1c_1md_1ne_1pf_1qg_1rh_1sj_1b_1$ равна ошибке при вычислении по профилю a_1kb_1 . В профиле $a_1c_1d_1e_1f_1g_1h_1j_1b_1$ элементы c_1d_1, d_1e_1, \dots представляют собою спрямляющие уклоны для элементов c_1m и md_1, d_1n и ne_1 и т. д. профиля $a_1c_1md_1 \dots b_1$; следовательно, ошибка при подсчете времени по профилю a_1kb_1 будет больше, чем ошибка, подсчитанная по профилю $a_1c_1d_1 \dots b_1$, а следовательно, и по профилю $acd \dots b$. Ошибка по профилю a_1kb_1 будет верхним пределом ошибки.

Если мы продолжим какой-нибудь элемент d_1e_1 до точки k_1 пересечения его с продолжением элемента b_1j_1 , то получим профиль $a_1c_1d_1j_1b_1$, ошибка по которому будет больше ошибки по первоначальному профилю.

Если соединим точку b_1 с точкой c_1 или с любой точкой: c_1, d_1, e_1, \dots , то получим профиль, элементы которого являются спрямляющими для нескольких элементов профиля $a_1c_1d_1 \dots b_1$.

Таким образом, ошибка при определении времени по какому-либо профилю протяжения l будет меньше ошибки при определении времени по какому-либо профилю такой же длины, описанному около профиля, заключающего в себе элементы заданного профиля, расположенные в последовательном порядке изменения уклонов от наибольшего до наименьшего, и будет больше ошибки при определении времени по какому-либо вписанному профилю такой же длины (при условии подъема кривых α , т. е. увеличения значений α в сторону более тяжелых элементов профиля).

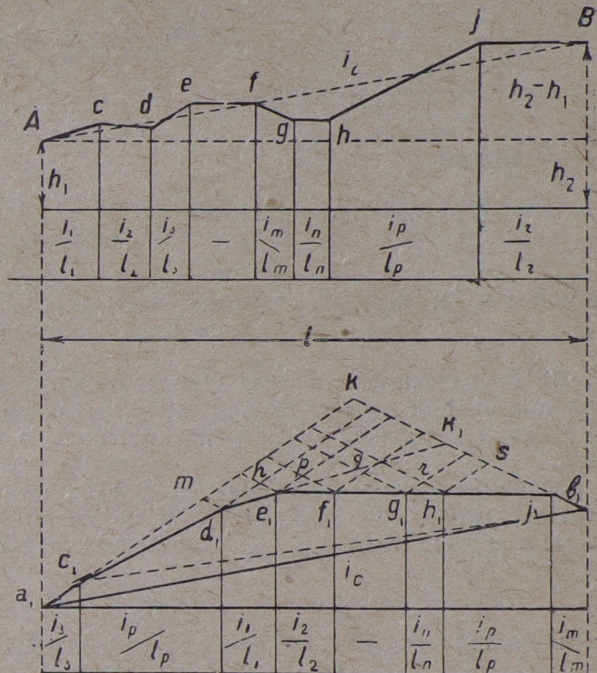
Если обозначим ошибку по заданному профилю буквой p , по профилю a_1kb_1 — буквой p_1 , по профилю $a_1c_1d_1k_1b_1$ — буквой p_2 , то будем иметь соотношение: $p_1 > p_2 > p > p_3 \dots$

Величины ошибок p_1, p_2 и p_3 могут быть определены следующим образом.

Ошибка p_1 определяется непосредственно по формуле (IV):

$$0,01p_1 = (\alpha_3 - \alpha_m) \frac{(i_c - i_3)(i_c - i_m)}{(i_3 - i_m)},$$

где α_3, α_m, i_3 и i_m соответствуют элементам с уклонами, наиболее отличающимися от спрямленного уклона i_c (черт. 45).



Черт. 45.

Ошибка p_2 определяется по формуле (II):

$$0,01p_2 = \frac{l_3}{l} \alpha_3 (i_c - i_3) + \frac{l_p}{l} \alpha_p (i_c - i_p) + \dots + \frac{l_u}{l} \alpha_1 (i_c - i_1) + \frac{l_v}{l} \alpha_m (i_c - i_m),$$

где значения α и i соответствуют элементам, указанным на чертеже 45. Величины l_u и l можно опр делить из уравнений:

$$l_3 + l_p + \dots + l_u + l_v = l \text{ и } l_3 i_3 + l_p i_p + \dots + l_u i_1 + l_v i_m = l i_c,$$

откуда:

$$l_v = \frac{l(i_c - i_1) - l_3(i_3 - i_1) \dots l_{(m-1)}(i_{(m-1)} - i_1)}{(i_m - i_1)}$$

и:

$$l_u = l - (l_3 + l_p + \dots + l_v).$$

Ошибка p_3 определяется из уравнения (III):

$$0,01p_3 = \frac{l_3}{l} (i_c - i_3) (\alpha_3 - \alpha_u),$$

где α_3 соответствует величине:

$$(i_c - i_3),$$

а α_u — величине:

$$(i_c - i_u) = i_c - \frac{i_c l - i_3 l_3}{l - l_3} = \frac{i_c l - i_c l_3 - i_c l + i_3 l_3}{l - l_3} = - \frac{l_3}{l - l_3} (i_c - i_3).$$

2. Выяснение и подсчет ошибки при определении механической работы локомотива по спрямленному профилю

70. Расход воды и топлива зависит главным образом от механической работы локомотива, производимой при передвижении поезда; следовательно, для выяснения ошибки в подсчете расхода воды и топлива достаточно выяснить ошибку в подсчете количества механической работы.

Величина механической работы при передвижении одной тонны веса поезда на протяжении lm составляет: $(w_0 + i)l$ (кгм). Если имеем участок пути общей длиной lm , состоящий из элементов длиной l_1, l_2, \dots, l_r , уклоны которых соответственно равняются i_1, i_2, \dots, i_r , общий

уклон спрямленного участка $i_c = \frac{\sum_1^r i_n l_n}{l}$ и основное сопротивление элементов соответственно

составляет: $w_{01}, w_{02}, w_{03}, \dots, w_{0r}$ и w_0 , то разница между механической работой, подсчитанной по спрямленному и действительному профилям, составит:

$$(w_0 + i_c)l - [(w_{01} + i_1)l_1 + (w_{02} + i_2)l_2 + \dots + (w_{0r} + i_r)l_r],$$

или, обозначая; $w_0 + i_c = w$; $(w_{0n} + i_n) = w_n$, получим:

$$\begin{aligned} wl - (w_1 l_1 + w_2 l_2 + \dots + w_r l_r) &= w(l_1 + l_2 + \dots + l_r) - (w_1 l_1 + w_2 l_2 + \dots + w_r l_r) = \\ &= w(l_1 + l_2 + \dots + l_r) - (w_1 l_1 + w_2 l_2 + \dots + w_r l_r) = l_1(w - w_1) + l_2(w - w_2) + \dots + l_r(w - w_r) = \\ &= \sum_1^r l_n (w - w_n). \end{aligned}$$

Ошибку при вычислении механической работы неудобно выражать отношением разницы работы при движении поезда по спрямленному и действительному профилям к работе по спрямленному профилю, так как на уклонах, соответствующих предельной скорости движения, механическая работа локомотива становится весьма малой величиной и падает до 0, вследствие чего отношение бесконечно возрастает и не является наглядным измерителем. Поэтому ошибку будем выражать разницей работ, отнесенной на единицу длины, т. е. разделенной на длину l . Эта величина представляет собой фиктивный уклон, на который нужно было бы изменить уклон спрямленного участка, чтобы получить работу, равную действительной.

Эта ошибка составляет:

$$r = \frac{\sum_1^r l_n (w - w_n)}{l}. \quad (V)$$

Вследствие влияния длины и инерции поезда действительная ошибка будет несколько меньше приведенного выражения.

В этом выражении $(w - w_n)$ зависит от $(i_c - i_n)$. Обозначив $\frac{(w - w_n)}{(i_c - i_n)}$ буквой β , получим:

$$\frac{(w - w_n)}{(i_c - i_n)} = \beta, \text{ откуда: } (w - w_n) = \beta (i_c - i_n). \text{ Подставив это значение } (w - w_n) \text{ в формулу (V) получим:}$$

$$r = \frac{\sum_1^r l_n \beta_n (i_c - i_n)}{l}. \quad (\text{VI})$$

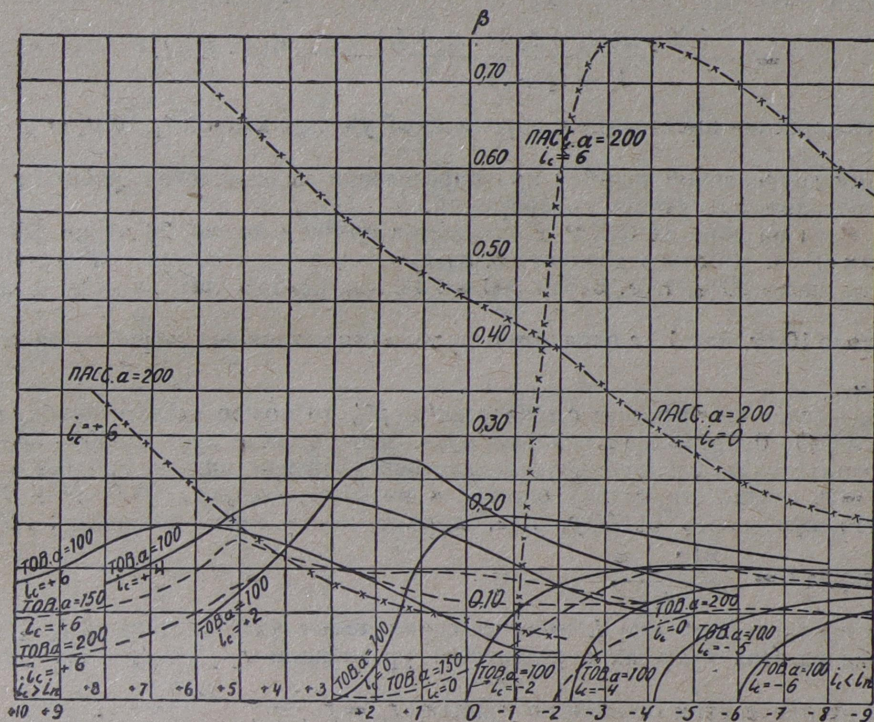
Эта формула подобна формуле (II), выражающей ошибку в подсчете времени.

Для участка, состоящего из двух элементов длиной l_1 и l_2 , с уклонами i_1 и i_2 при общей длине l и величине спрямленного уклона i_c , получим величину ошибки (подобно тому, как было получено при определении ошибки по времени):

$$r = \frac{l_1}{l} (\beta_1 - \beta_2) (i_c - i_1), \quad (\text{VII})$$

или:

$$r = (\beta_1 - \beta_2) \frac{(i_c - i_1)(i_c - i_2)}{(i_1 - i_2)}. \quad (\text{VIII})$$



Черт. 46.

Для выяснения влияния множителя $(\beta_1 - \beta_2)$ на чертеже 46 представлены диаграммы значений $\beta = \varphi(i_c - i_1)$.

Примечание. Диаграмма построена применительно к силе тяги товарного

паровоза сер. О^В при $z = 30$ и пассажирского паровоза сер. С при $z = 40$.

Эти кривые не имеют определенного направления наклона: они меняют его в точках, соответствующих достижению поездом определенной скорости, и затем обратно в точках, соответствующих спускам, равным по величине основному сопротивлению при предельной скорости движения. Выводы относительно характера ошибки, сделанные по отношению к ошибке в подсчете времени, справедливы лишь в тех случаях, когда кривые $\beta = f(i_c - i_n)$ в пределах рассматриваемых элементов спрямляемого участка повышаются слева направо, т. е. с увеличением i_c .

3. Установление допускаемых ошибок p и r

71. Тяговые расчеты производятся обычно с предельной точностью до 1%. Полученная при расчетах ошибка должна быть отнесена к перегону (т. е. расстоянию между остановочными пунктами); поэтому, если спрямление профиля производится для какого-либо участка, соответствующего части перегона, то ошибка на этом спрямленном участке может быть допущена больше.

Тяговые расчеты.

Если имеем перегон длиной l , средняя скорость движения по которому составляет v , то среднее время прохода 1 км по перегону составит: $t = \frac{v}{60}$. Если в пределах этого перегона спрямляются участки длиной l_1, l_2, \dots, l_r , время прохода 1 км по которым соответственно составляет t_1, t_2, \dots, t_r , то ошибка в подсчете времени составит:

$$0,01 p_1 l_1 t_1 + 0,01 p_2 l_2 t_2 + \dots + 0,01 p_r l_r t_r = 0,01 p L t,$$

где p — допускаемый процент ошибки на перегоне, а p_1, p_2, \dots, p_r — на спрямляемых участках перегона.

Из приведенного уравнения видно, что p_1, p_2, \dots, p_r можно подбирать самым разнообразным способом, удовлетворяя уравнению в зависимости от местных условий.

При равномерном распределении ошибки по всем спрямляемым участкам:

$$p_n = p \frac{L}{l_1 + l_2 + \dots + l_r} \cdot \frac{t}{t_r}.$$

Действительно, при этом получаем разницу во времени:

$$\begin{aligned} 0,01 p_1 l_1 t_1 + 0,01 p_2 l_2 t_2 + \dots + 0,01 p_r l_r t_r &= 0,01 p \frac{L}{l_1 + l_2 + \dots + l_r} \cdot \frac{t}{t_1} t_1 l_1 + \\ + 0,01 p \frac{L}{l_1 + l_2 + \dots + l_r} \cdot \frac{t}{t_2} t_2 l_2 + \dots + 0,01 p \frac{L}{l_1 + l_2 + \dots + l_r} \cdot \frac{t}{t_r} t_r l_r &= \\ = \frac{0,01 p L t (l_1 + l_2 + \dots + l_r)}{l_1 + l_2 + \dots + l_r} &= 0,01 p \cdot L \cdot t. \end{aligned}$$

Если на перегоне имеется один спрямляемый участок длиной l_1 , то $p_1 = p \cdot \frac{L}{l} \cdot \frac{t}{t_1}$.

Величину допускаемой ошибки при определении механической работы r можно определить на основании следующих соображений.

Расход воды на дорогах СССР составляет в среднем около 20 м^3 на 50 км пути, или 400 кг на 1 км пути. Из этого количества, за вычетом всяких потерь, расход пара машиной можно принять около 80%, т. е. около 300 кг. Расход пара в час на одну лошадиную силу

$$\text{составляет около } 10 \text{ кг, или } 1 \text{ кг пара может произвести механическую работу около } \frac{75 \cdot 3600}{10} = 27000 \text{ кг/м.}$$

Если мы желаем вести расчет с точностью до $p\%$, то можно сделать ошибку в определении расхода пара в $300 \cdot 0,01 p = 3p$ кг на 1 км пути, что соответствует $27000 \cdot 3p = 81000p$ кгм работы. Дополнительная работа паровоза для передвижения поезда на один километр пути по уклону $i_r = r$, соответствующему ошибке в подсчете, составит $1000r(P + Q)$ кгм работы, что не должно превышать $81000p$, т. е. должно иметь место равенство: $1000r(P + Q) =$

$$= 81000p, \text{ откуда } r = \frac{81p}{(P + Q)}.$$

Если в пределах перегона L имеются спрямляемые участки длиной l_1, l_2, \dots, l_r , то допускаемая ошибка на этих участках определяется уравнением $r_1 l_1 + r_2 l_2 + \dots + r_r l_r = rL$. При равномерном распределении ошибки по участкам $r_n = r \frac{L}{l_1 + l_2 + \dots + l_r}$.

Величина ошибки зависит также от степени округления величины спрямляемого уклона, которая определяется на основании следующих соображений. Предположим, что при спрямлении профиля действительное его значение составит i_c , а мы округлили его до значения i_1 ; разницу $i_1 - i_c$ обозначим буквой u . Тогда ошибка от округления выразится величиной: $0,01p = \frac{l_1}{l} a_1 (i_1 - i_c) = \frac{l_1}{l} a_1 u$, $u = \alpha_1 u$ так как $l_1 = l$, откуда $u = \frac{0,01p}{\alpha}$. Эта выражение и представляет величину допускаемого округления.

Если мы желаем, чтобы ошибка не превосходила 1%, то $u = \frac{0,01}{\alpha}$.

В отношении определения механической работы с точностью до 1% округление величины спрямляемого уклона может быть произведено с точностью до $r = \frac{81}{(P + Q)}$.

Примечание. При значении $\alpha = 0,20$ $u = \frac{0,01}{\alpha} = 0,05$; при значении $(P + Q) = 1500$ $r = 0,053$. Следовательно, значение уклона до 0,05 можно отбросить, а значение свыше 0,05 дополнить до 0,1. Таким образом, значения уклонов спрямляемых участков можно брать с точностью до одной десятичной.

4. Порядок производства работы по спрямлению профиля и определению ошибок

72. Работа по спрямлению профиля разбивается на следующие части:

- 1) определение значений $\frac{(t-t_n)}{t} = l(i_c - i_n)$; $\alpha_n = \frac{(t-t_n)}{(i_c - i_n)} = f_1(i_c - i_n)$; $(w - w_n) = \varphi(i_c - i_n)$ и $\beta_n = \frac{(w - w_n)}{i_c - i_n} = \varphi_1(i_c - i_n)$ и построение для них соответствующих диаграмм;
- 2) установление допускаемой ошибки p в подсчете времени и r — в подсчете механической работы;
- 3) спрямление профиля;
- 4) подсчет ошибки p и r .

Для определения значений $\frac{(t-t_n)}{t} = f(i_c - i_r)$ и $\alpha = f_1(i_c - i_r)$ нужно определить

сначала значения $t = \psi(i_c)$ для условий работы, принятых на данном участке, т. е. для определенного типа локомотива, рода топлива, состава поезда и предельной скорости движения

Значения $t = \psi(i)$ удобнее всего представить в виде диаграммы (черт. 30), после чего легко определяются значения $\left(\frac{t-t_n}{t}\right)$ и α_n . Кривые $\left(\frac{t-t_n}{t}\right)$ и α_n должны быть построены для различных значений уклонов i_c (через одну или две тысячные); для промежуточных значений i_c величины $\left(\frac{t-t_n}{t}\right)$ и α_n могут быть определены путем интерполяции.

Значения $(w - w_n) = \psi(i_c - i_n)$ и $\beta = \psi_1(i_c - i_n)$ должны определяться в тех случаях, когда предполагается производить проверку спрямленного профиля в отношении механической работы. Определение этих величин и построение для них диаграмм затруднений не представляет.

При спрямлении профиля следует руководствоваться формой кривых α (и если нужно, то и β), стараясь по возможности избегать элементов профиля в пределах спрямленного участка, выходящих за точку перелома кривых α , и во всяком случае не допуская больших протяжений таких элементов.

Во многих случаях, руководствуясь формой кривых, можно производить спрямление с определенной уверенностью в том, что ошибка не превзойдет установленного предела. Если такой уверенности нет, то можно сделать предварительную проверку путем определения крайних пределов ошибки. Если при этом имеются основания ожидать большой ошибки, то можно определить низший предел по формуле: $0,01p = \frac{l_1}{l}(i_c - i_1)(\alpha_1 - \alpha_2)$, где l_1 , i_1 и α_2 соответствуют элементам с наибольшим или наименьшим уклоном, а α_2 соответствует величине $(i_c - i_2) = -\frac{l_2}{l - l_1}(i_c - i_1)$. Если при этой проверке ошибка будет больше нормы, то, очевидно, спрямление неприемлемо. Если есть основание ожидать наибольшей ошибки, то можно определить высший предел по формуле: $0,01p = (\alpha_1 - \alpha_r) \frac{(i_c - i_1)(i_c - i_r)}{(i_1 - i_r)}$, где i_1 , α_1 и i_r , α_r соответствуют элементам с наибольшим и наименьшим уклонами.

Если в спрямляемом участке много элементов, при чем элементов с уклонами, резко отклоняющимися от спрямленного уклона i_c , немного, то проверку можно произвести по формуле: $0,01p = \frac{l_1}{l} \alpha_1 (i_c - i_1) + \frac{l_2}{l} \alpha_2 (i_c - i_2) + \dots + \frac{l_m}{l} \alpha_m (i_c - i_m) + \frac{l_r}{l} \alpha_r (i_c - i_r)$, где первые члены до $(m-1)$ соответствуют элементам с уклонами, резко отличающимися от спрямленного уклона, α_m и i_m соответствуют следующему по порядку крутизны уклону и α_r и i_r — элементу с наименьшим уклоном, при чем:

$$l_s = \frac{l(i_c - i_r) - [l_1(i_1 - i_r) + l_2(i_2 - i_r) + \dots + l_{(m-1)}(i_{(m-1)} - i_r)]}{(i_m - i_r)}$$

$$l_n = l - (l_1 + l_2 + \dots + l_{(m-1)} + l_r).$$

Если при помощи указанных приблизительных проверок нельзя установить возможности спрямления, то нужно определить действительную ошибку.

Подсчет ошибки во времени удобнее производить по формуле (I): $0,01p = \frac{\sum_{n=1}^r \left(\frac{t-t_n}{t}\right)}{l}$, так как при этом получится меньше арифметических действий, чем по формуле (II). Значе-

ния $\left(\frac{t-t_n}{t}\right)$ можно брать из диаграммы (черт. 43); подсчет ошибки механической работы

удобнее производить по формуле: $r = \frac{\sum l_n (w - w_n)}{l}$. Значения $(w - w_n)$ можно брать из

диаграммы (черт. 46). Если при подсчете ошибок окажется, что они превышают норму, спрямленным профилем все же можно пользоваться, но при условии введения поправки при расчете времени, воды и топлива.

15. Определение состава поезда

73. Определение состава поезда производится для решения одной из следующих задач:

1) определение наибольшего состава поезда, соответствующего данному локомотиву, профилю и трассе линии;

2) определение состава поезда, соответствующего наибольшей пропускной способности дороги, измеряемой количеством перевезенных грузов в единицу времени;

3) определение состава поезда, соответствующего наименьшей стоимости перевозок.

В большинстве случаев наибольший состав, соответствующий данному локомотиву, профилю и трассе, удовлетворяет также и другим требованиям (наибольшей пропускной способности и наименьшей стоимости перевозок).

Для дорог с легким, однообразным профилем (с небольшими руководящими уклонами) может оказаться выгодным в отношении увеличения пропускной способности и уменьшения стоимости перевозок увеличение скорости на руководящих подъемах за счет некоторого уменьшения составов.

В обыкновенных случаях как для эксплуатируемых, так и для строящихся железных дорог расчет состава поезда производится по первому условию (наибольший состав).

1. Определение наибольшего состава поезда, соответствующего данному локомотиву, профилю и трассе линии

74. Определение наибольшего состава поезда производится по формуле установившейся скорости движения поезда на расчетном подъеме, совпадающем с кривой наименьшего радиуса:

$$F_k - (w'_0 + i_k)Q - (w'_0 + i_k)P = 0,$$

откуда:

$$Q = \frac{F_k - (w'_0 + i_k)P}{w'_0 + i_k},$$

или, если сопротивление локомотива и вагонов определяется по одной формуле:

$$Q = \frac{F_k}{w_0 + i_k} - P.$$

Предварительно должна быть выбрана скорость v и определены соответствующие этой скорости сопротивление w_0 и сила тяги F_k .

Скорость движения на руководящем подъеме выбирается с таким расчетом, чтобы по возможности полно была использована сила тяги, т. е. ограничение ее по источнику энергии (по котлу), по машине и по сцеплению. Это значение скорости соответствует точке пересечения линий F_k с F_c или F_w , при чем должны быть взяты меньшие из полученных значений F

(черт. 47), где F_k — ограничение силы тяги по котлу, F_c — по сцеплению и F_u — по машине. Во всяком случае, скорость не должна быть меньше норм, указанных в § 49. На чертеже 47 указаны различные случаи выбора v и F .

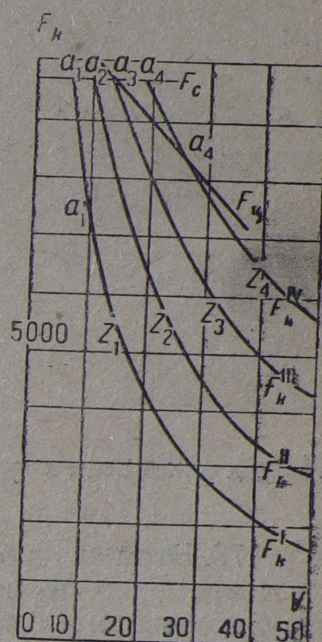
1) Для кривой F_k^I , соответствующей интенсивности парообразования z_1 , точка a_1 пересечения F_k^I с F_c соответствует значению $v < 10$ км/ч., следовательно, приходится выбирать меньшие F_k^I , соответствующие скорости $v = 10$ км/ч. (точка a_1').

2) Для кривой F_k^{II} , соответствующей z_2 значение F_k должно быть взято по пересечению F_k^{II} и F_c (точка a_2).

3) Для кривой F_k^{III} , соответствующей z_3 , значение F_k должно быть взято по F_k^{III} , F_c и F_u , так как все линии пересекаются в одной точке a_3 .

4) Для кривой F_k^{IV} , соответствующей z_4 , значение F_k должно быть взято по F_u и F_c (точка a_3) или по F_k^{IV} и F_u (точка a_4').

Если на линии с наибольшими затяжными подъемами i_1 встречаются сравнительно короткие участки пути с большими подъемами i_2 , то расчет состава поезда целесообразно производить для затяжных подъемов i_1 , которые в этом случае называются *руководящими*, а прохождение более тяжелых участков пути, с подъемами i_2 , производить при помощи следующих способов.



Черт. 47.

Прохождение участка пути с крутым, коротким, подъемом i_2 за счет живой силы поезда

75. Этот способ заключается в том, что поезд перед вступлением на элемент с тяжелым подъемом разгоняется до некоторой определенной скорости, при чем поезд приобретает значительную живую силу $\left(\frac{Mv^2}{2}\right)$, за счет которой преодолевается тяжелый подъем. В этих случаях необходимо произвести поверочный расчет возможности прохождения участка пути с подъемом i_2 с тем, чтобы скорость движения к концу подъема была не менее 8 км/ч.

Поверку удобнее всего произвести путем построения кривой $v = \psi(s)$.

Предварительная, грубая, поверка может быть произведена расчетом, основанным на следующем.

При преодолении какого-либо подъема i должна быть произведена механическая работа $\Sigma(w_0 + i)(P + Q)l$, где w_0 меняется в зависимости от изменения скорости. Эта работа может быть получена за счет работы локомотива и за счет использования живой силы поезда и будет равна: $\Sigma Fl + \frac{Mv_1^2}{2} - \frac{Mv_2^2}{2}$, где F меняется в зависимости от изменения скорости

движения, M есть масса поезда, равная $\frac{1000(P + Q)}{g}(1 + \gamma)$, v_1 — скорость в начале подъема, v_2 — скорость в конце подъема. Так как скорость выражена в километрах в час, то g должно быть принято равным 127 000 [км/ч²]. Коэффициент γ (влияние вращающихся частей) может быть принят равным 0,05 (§ 31). Так как работа локомотива и живой силы должна быть использована для преодоления сопротивления, то получается равенство:

$$\Sigma F_k l + \frac{1000(P + Q)}{127\,000 \cdot 2} (1 + \gamma)(v_1^2 - v_2^2) = \Sigma(w_0 + i)(P + Q)l,$$

где l — в километрах.

Для приближенного расчета примем значения силы тяги и сопротивления, соответствующие среднему значению скорости, т. е. скорости, равной $\frac{v_1 + v_2}{2}$. Тогда получим:

$$l [(w_0 + i)(P + Q) - F_k] = \frac{(P + Q)}{242} (v_1^2 - v_2^2),$$

откуда:

$$l = \frac{\frac{(P + Q)}{242} (v_1^2 - v_2^2)}{(w_0 + i)(P + Q) - F_k} = \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{242 \left((w_0 + i) - \frac{F_k}{(P + Q)} \right)} = \frac{v_1^2 - v_2^2}{242(w_0 + i - f_k)} \text{ км},$$

или:

$$v_2 = \sqrt{v_1^2 - 242l(w_0 + i - f_k)}$$

Прохождение участка пути с подъемом i_3 за счет запаса пара в котле паровоза

76. Этот способ заключается в том, что для повышения силы тяги паровоза временно производится расход пара машиной более, нежели средняя паропроизводительность котла. Применение этого способа целесообразно в тех случаях, когда можно поднять силу тяги в пределах до ограничения ее по машине или сцеплению или увеличить скорость движения для прохождения трудного элемента пути за счет живой силы поезда. При применении этого способа нужно проверить расход пара и воды во избежание понижения уровня воды в котле, как было указано в § 59.

Увеличение силы тяги путем применения добавочных локомотивов

77. При длинных, трудных, участках пути, когда не могут быть применены вышеприведенные способы, применяется усиление тяги путем добавления одного или нескольких локомотивов. В этих случаях должен быть произведен подсчет экономической выгоды применения добавочных локомотивов, для чего должна быть определена стоимость перевозок без применения добавочных локомотивов и с применением их.

Для предварительных соображений можно производить проверку целесообразности применения дополнительных локомотивов по одной из следующих формул:

1) при густом движении — по формуле, предложенной Б. Д. Воскресенским:

$$\frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \geq \frac{l_m}{l},$$

2) при слабом движении — по формуле, предложенной М. С. Федоровым:

$$\frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} \geq \frac{l_m}{l} \gamma \frac{(1 + \beta_m)}{(1 + \beta)} \cdot \frac{\lambda}{\lambda_m}.$$

В этих выражениях буквы обозначают:

Q_1 — вес состава с одиночной тягой;

Q_2 — вес состава с добавочным локомотивом;

l — длина всего участка;

l_m — длина пути, на котором применяется добавочный локомотив;

β — коэффициент непроизводительного пробега основного (поездного) локомотива;

β_m — коэффициент непроизводительного пробега добавочного локомотива;

λ — средний суточный пробег основного (поездного) локомотива;

λ_m — средний суточный пробег добавочного локомотива;

γ — отношение себестоимости локомотиво-километра добавочного локомотива к себестоимости локомотиво-километра основного (поездного) локомотива.

Если одиночная тяга локомотивом, вес которого P_1 , сила тяги F_{k_1} при скорости движения v_1 на руководящем подъеме i_1 производится по участкам пути с подъемами до i_1 включительно, то вес поезда определяется по формуле:

$$Q = \frac{F_{k_1}}{w_0 + i_1} - P_1.$$

Если для более тяжелых участков пути с подъемами от i_1 до i_2 движение производится при помощи дополнительного локомотива, вес которого — P_2 и сила тяги — F_{k_2} при скорости движения v_1 на предельном подъеме i_2 , от получим равенство: $F_{k_1} + \alpha F_{k_2} = (w_0 + i_2)(P_1 + P_2 + Q)$, где α — коэффициент использования силы тяги второго локомотива.

Подставив вместо F_{k_1} , w_0 , i_1 , P_1 и Q их численные значения, можем подобрать локомотив с соответствующими значениями F_{k_2} и P_2 .

Если тип добавочного локомотива задан, то можно определить вес поезда, который оба локомотива могут вывести на подъем i_2 :

$$Q_2 = \frac{(F_{k_1} + \alpha F_{k_2})}{(w_0 + i_2)} - (P_1 + P_2),$$

или предельный подъем i_2 , который оба локомотива с составом веса Q могут преодолеть:

$$i_2 = \frac{F_{k_1} + \alpha F_{k_2}}{(P_1 + P_2 + Q)} - w_0 = (f_{k_1} + \alpha f_{k_2}) - w_0,$$

при чем одной тягой состав может быть вывезен на подъемах, включая до

$$i_1 = \frac{F_{k_1}}{(P_1 + Q)} - w_0 = f_{k_1} - w_0.$$

2. Определение состава поезда, соответствующего наибольшей пропускной способности ¹⁾.

78. Для решения этой задачи должно быть определено значение веса поезда Q , при котором количество перевезенных в единицу времени грузов будет наибольшим, т. е. когда получится $\max R$. Количество перевозимых грузов составляет:

$$R = Q_n n = Q'_n n' + Q''_n n'' \quad (I)$$

¹⁾ В последующих параграфах приняты следующие буквенные обозначения:

R — среднее суточное общее количество груза, перевозимого по дороге;

Q — вес вагонов в поезде (брутто);

Q_n — вес груза в поезде (нетто);

q — полный вес одного вагона (брутто);

q_n — средняя нагрузка одного вагона (нетто);

q_m — средний вес порожнего вагона (тара);

q_0 — подъемная сила вагона;

m_n — число вагонов в поезде;

n — число поездов;

L — длина перегона;

α — коэффициент отношения тары к подъемной силе вагона $\left(\alpha = \frac{q_m}{q_0}\right)$;

β — коэффициент полногрузности вагона $\left(\beta = \frac{q_n}{q_0}\right)$;

φ — коэффициент неравномерности перевозок в разных направлениях $\left(\varphi = \frac{R''}{R'}\right)$;

ψ — коэффициент неравномерности движения $\left(\psi = \frac{n''}{n'}\right)$.

Индексами ' и '' обозначены четное и нечетное направления движения поездов.

где:

$$Q'_n = q'_n m' \text{ и } Q''_n = q''_n m''_n.$$

Для того, чтобы ввести в формулу полный вес поезда, выразим нагрузку вагона q_n через полный его вес q в зависимости от его подъемной силы и полногрузности:

$$q'_n = q' - q_m = q' - \alpha q_0 = q' - \alpha \frac{q'_n}{\beta'},$$

или:

$$q' = q'_n \left(1 + \frac{\alpha}{\beta'}\right) = q'_n \left(\frac{\alpha + \beta'}{\beta'}\right),$$

откуда:

$$q'_n = q' \frac{\beta'}{(\alpha + \beta')}.$$

В обратном направлении средняя нагрузка вагона будет меньше в отношении $\frac{R''}{R'} = \varphi$, следовательно:

$$q''_n = q'' \frac{\beta''}{\alpha + \beta''} = q'' \frac{\beta' \frac{R''}{R'}}{\alpha + \beta' \frac{R''}{R'}} = q'' \frac{\beta' \varphi}{(\alpha + \beta' \varphi)}.$$

Число пар поездов n выразим функцией от скорости движения v , исходя из следующих соображений. При скорости движения v время занятия перегона t одним поездом составляет: $t = t_x + t_0$, где $t_x = \frac{L}{v}$ — время прохода поездом перегона и t_0 — потеря времени от момента прибытия поезда с перегона до момента отправления поезда на тот же перегон. При двупутном движении число поездов, которое может быть пропущено в сутки, определяется временем занятия наиболее тяжелого перегона для каждого направления отдельно, а именно:

$$n'(t'_x + t'_0) = n' \left(\frac{L}{v'} + t'_0 \right) = 24,$$

откуда:

$$n' = \frac{24}{\frac{L}{v'} + t'_0} = \frac{24v'}{L + t'_0 v'} \text{ и } n'' = \frac{24v''}{L + t''_0 v''}.$$

Для однопутных дорог число поездов, которое может быть пропущено по перегону в сутки, определяется временем занятия перегона поездами в обоих направлениях и коэффициентом неравномерности движения поездов в обоих направлениях. Время занятия перегона в течение суток поездами обоюго направления составляет:

$$(t'_x + t'_0) n' + (t''_x + t''_0) n'' = 24.$$

При коэффициенте неравномерности движения $\psi = \frac{n''}{n'}$ получим:

$$n'' = n' \psi, \text{ или } n' = \frac{n''}{\psi},$$

следовательно, можно написать:

$$\left(\frac{L}{v'} + t'_0 \right) n' + \left(\frac{L}{v''} + t''_0 \right) \psi n' = L n' \left(\frac{1}{v'} + \frac{\psi}{v''} \right) + n' (t'_0 + \psi t''_0) = 24,$$

откуда:

$$n' = \frac{24}{L \left(\frac{1}{v'} + \frac{\psi}{v''} \right) + (t'_0 + \psi t''_0)},$$

и

$$Ln'' \left(\frac{1}{v'\psi} + \frac{1}{v''} \right) + n'' \left(\frac{t'_0}{\psi} + t'_0 \right) = 24,$$

откуда:

$$n'' = \frac{24\psi}{L \left(\frac{1}{v'} + \frac{\psi}{v''} \right) + (t'_0 + \psi t''_0)}.$$

Подставляя полученные выражения q_n и n в формулу (I), получим для двухпутных линий:

$$R' = Q'_n n' = q'_n m' n' = q' \frac{\beta'}{(\alpha + \beta')} m' \frac{24v'}{L + t'_0 v''} = \frac{24\beta'}{\alpha + \beta'} \cdot \frac{Q'v'}{(L + t'_0 v')}.$$

так как $q'm' = Q'$;

$$R'' = Q''_n n'' = q''_n m'' n'' = q'' \frac{\beta'\varphi}{(\alpha + \beta'\varphi)} \cdot m'' \frac{24v''}{L + t'_0 v''} = \frac{24\beta'\varphi}{(\alpha + \beta'\varphi)} \cdot \frac{Q''v''}{(L + t'_0 v'')}.$$

и для однопутных линий:

$$\begin{aligned} R' &= Q'_n n' = q'_n m' n' = q' \frac{\beta'}{(\alpha + \beta')} \cdot m' \frac{24}{L \left(\frac{1}{v'} + \frac{\psi}{v''} \right) + (t'_0 + \psi t''_0)} = \\ &= \frac{24\beta'}{(\alpha + \beta')L} \cdot \frac{1}{L \left(\frac{1}{Q'v'} + \frac{\psi}{Q'v''} \right) + \left(\frac{t'_0 + \psi t''_0}{Q'} \right)}. \end{aligned}$$

В произведении $Q'v''$ заменим Q' выражением его через Q'' , которое определяем из отношения:

$$\begin{aligned} \frac{Q'}{Q''} &= \frac{q'm'}{q''m''} = \frac{q'_n m' \left(\frac{\alpha + \beta'}{\beta'} \right)}{q''_n m'' \left(\frac{\alpha + \beta'\varphi}{\beta' \cdot \varphi} \right)} = \frac{Q'_n (\alpha + \beta')\varphi}{Q''_n (\alpha + \beta'\varphi)} = \frac{R'}{n'} \cdot \frac{n''}{R''} \cdot \frac{(\alpha + \beta')\varphi}{\alpha + \beta'\varphi} = \\ &= \frac{\psi}{\varphi} \cdot \frac{(\alpha + \beta')\varphi}{(\alpha + \beta'\varphi)} = \psi \frac{(\alpha + \beta')}{(\alpha + \beta'\varphi)}, \end{aligned}$$

откуда:

$$Q' = Q''\psi \frac{(\alpha + \beta')}{(\alpha + \beta'\varphi)}.$$

Следовательно:

$$\begin{aligned} R' &= \frac{24\beta'}{L \left[\frac{(\alpha + \beta')}{Q'v'} + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''v''} \right] + \left(\frac{\alpha + \beta'}{Q'} \right) (t'_0 + \psi t''_0)}; \\ R'' &= Q''_n n'' = q''_n m'' n'' = q'' \frac{\beta' \cdot \varphi}{(\alpha + \beta'\varphi)} \cdot \frac{24\psi}{L \left(\frac{1}{v'} + \frac{\psi}{v''} \right) + (t'_0 + \psi t''_0)} = \\ &= \frac{24\beta'\varphi}{(\alpha + \beta'\varphi)} \cdot \frac{\psi}{L \left(\frac{1}{Q'v'} + \frac{\psi}{Q''v''} \right) + \left(\frac{t'_0 + \psi t''_0}{Q'} \right)}. \end{aligned}$$

Заменим в произведении $Q''v'$ значение Q'' подобно тому, как была сделана выше замена Q' в произведении $Q'v''$:

$$Q'' = \frac{Q'}{\psi} \cdot \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{(\alpha + \beta')};$$

следовательно:

$$R'' = \frac{24\beta'\varphi}{(\alpha + \beta'\varphi)} \cdot \frac{\psi}{L \left(\frac{1}{Q''v'} + \frac{\psi}{Q''v''} \right) + (t_0' + \psi t_0'')} =$$

$$= \frac{24\beta'\varphi}{L \left[\frac{\alpha + \beta'}{Q''v''} + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''v''} \right] + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''\psi} (t_0' + \varphi t_0'')}.$$

В полученных формулах переменными величинами являются произведения Qv , Q и v . Произведение Qv имеет преобладающее влияние и находится или в числителе, или в знаменателе знаменателя, вследствие чего с увеличением Qv растет количество совершаемых перевозок.

При определении $\max Qv$ могут встретиться два случая:

- 1) профиль однородный;
- 2) профиль ломаный.

Определение $\max Qv$ при однородном профиле

79. Определяем значение Q из уравнения движения при установившейся скорости $F_k - w_k(P + Q) = 0$, заменив предварительно в этом уравнении P величиной αQ , где $\alpha = \frac{P}{Q}$. Получаем:

$$Q = \frac{F_k}{w_k(1 + \alpha)}.$$

Для получения значения Qv помножим обе части полученного равенства на v :

$$Qv = \frac{F_kv}{w_k(1 + \alpha)}.$$

Для определения $\max Qv$ из этого выражения нужно F_k и w_k представить в виде функции от v .

Так как $\max Qv$ лежит в узких пределах значений F_k , относящихся к верхней части кривой F_k , то с достаточной степенью точности $F_k = \varphi_k(z, v)$ может быть представлена в виде $F_k = A - Bv$, что представляет собой уравнение прямой линии¹⁾.

Для определения коэффициентов A и B нужно задаться двумя определенными значениями F_{k1} и F_{k2} и определить по диаграмме $F_k = \varphi_k(z, v)$ соответствующие значения v_1 и v_2 (черт. 6).

Подставив полученные значения F_k и v в уравнение $F_k = A - Bv$, определим: $A = \frac{F_{k1}v_2 - F_{k2}v_1}{v_2 - v_1}$ и $B = \frac{F_{k1} - F_{k2}}{v_2 - v_1}$,

Сопротивление w_k выражается равенством: $w_k = a + i + bv$.

Подставляя полученные выражения F_k и w_k в уравнение $Qv = \frac{F_kv}{w_k(1 + \alpha)}$, получим:

$$Qv = \frac{Av - Bv^2}{(1 + \alpha)(a + i + bv)}.$$

Для определения скорости, соответствующей $\max Qv$, должна быть взята первая производная от Qv по dv и приравнена нулю и из полученного уравнения определено v :

$$\frac{d(Qv)}{dv} = \frac{(A - 2Bv)(a + i + bv)(1 + \alpha) - (Av - Bv^2)(1 + \alpha)b}{(a + i + bv)^2(1 + \alpha)^2} = 0.$$

¹⁾ Примечание. Для точных расчетов зависимость $F_k = \varphi_k(z, v)$ следует представить в виде уравнения кривой (параболы или гиперболы).

Очевидно, что числитель этой дроби должен быть равен 0. После раскрытия скобок получим:

$$A(a+i) - 2B(a+i)v - Bbv^2 = 0,$$

откуда:

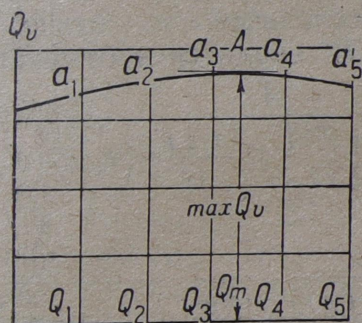
$$v = \frac{a+i}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{Ab}{B(a+i)} - 1} \right).$$

Значение силы тяги определится по диаграмме $F_k = \varphi_k(z, v)$ соответственно полученному v . Величина состава Q определится из выражения:

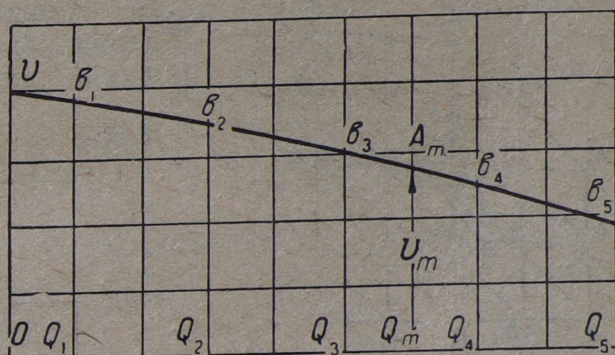
$$Q = \frac{F_k}{w_k(1+a)}.$$

Определение $\max Qv$ при ломаном профиле (при определении наибольшей пропускной способности двупутной линии)

80. При ломаном профиле вследствие влияния скоростей на уклонах, меньших предельного, значение $\max Qv$ получится при других величинах Q и v ,



Черт. 48.



Черт. 49.

отличающихся от значений Q и v при однородном профиле. Величина состава Q в этих случаях будет находиться в пределах между $\max Q$ на предельном подъеме и значением Q , соответствующим $\max Qv$ на том же подъеме. Определение $\max Qv$ при ломаном профиле может быть произведено графическим способом.

Для решения этой задачи нужно задаться несколькими значениями Q в пределах между $\max Q$ и Q , соответствующие $\max Qv$ на однородном предельном подъеме, и определить соответствующие им v (средние для всего перегона) и соответствующие им Qv .

Полученные значения Qv должны быть перенесены на диаграмму, на которой по оси абсцисс откладываются значения Q_1, Q_2, \dots , а по оси ординат — Q_1v_1, Q_2v_2, \dots (черт. 48). Соединив кривою $a_1a_2a_3, \dots$ верхние точки ординат, получим зависимость $Qv = f(Q)$. Верхняя точка A кривой соответствует $\max Qv$, проекция ее A на оси абсцисс определит соответствующее значение Q .

Для нахождения соответствующей величины v зависимость $v = \varphi(Q)$ также может быть представлена графически кривою (черт. 49). Для этого значения Q_1, Q_2, \dots должны быть отложены по оси абсцисс и соответствующие им величины v_1, v_2, v_3, \dots — по оси ординат. Кривая $b_1b_2b_3, \dots$ представляет собою зависимость $v = \varphi(Q)$. Скорость v_m , соответствующая значению Q_m , измеряется ординатой Q_mb_m .

Определение состава поезда, соответствующего наибольшей пропускной способности для однопутных линий

81. Для однопутных линий пропускная способность определяется выражениями:

$$R' = \frac{24\beta'}{L \left[\frac{(\alpha + \beta')}{Q'v'} + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''v''} \right] + \left(\frac{\alpha + \beta'}{Q'} \right) (t'_0 + \psi t''_0)}$$

и

$$R'' = \frac{24\beta'\varphi}{L \left[\frac{(\alpha + \beta')}{Q'v'} + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''v''} \right] + \frac{(\alpha + \beta')}{Q''\psi} (t'_0 + \psi t''_0)},$$

представляющими собою уравнение поверхности.

Наибольшая пропускная способность определяется $\max R'$ и $\max R''$, или $\max (R', R'')$.

Аналитическое решение этих уравнений весьма сложно, графическое же решение затруднений не представляет. Так как множители 24, L , β' и $\beta'\varphi$ являются величинами постоянными, то отыскание $\max R'$ или $\max R''$ сводится к отысканию

$$\max \frac{1}{L \left[\frac{(\alpha + \beta')}{Q'v'} + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''v''} + \frac{(\alpha + \beta')}{Q'} (t'_0 + \psi t''_0) \right]}$$

и

$$\max \frac{1}{L \left[\frac{\alpha + \beta'}{Q'v'} + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''v''} \right] + \frac{(\alpha + \beta')}{Q''\psi} (t'_0 + \psi t''_0)}$$

А так как множитель $(\alpha + \beta')$ постоянный, то решение задачи сводится к отысканию:

$$\max \frac{1}{\frac{1}{Q'v'} + \frac{1}{Q''v''} \left(\frac{\alpha + \beta'\varphi}{\alpha + \beta'} \right) + \frac{t'_0 + \psi t''_0}{Q'}}$$

и

$$\max \frac{1}{\frac{1}{Q'v'} + \frac{1}{Q''v''} \left(\frac{\alpha + \beta'\varphi}{\alpha + \beta'} \right) + \frac{t'_0 + \psi t''_0}{Q''\psi}}.$$

Графическое решение задачи заключается в следующем (черт. 50).

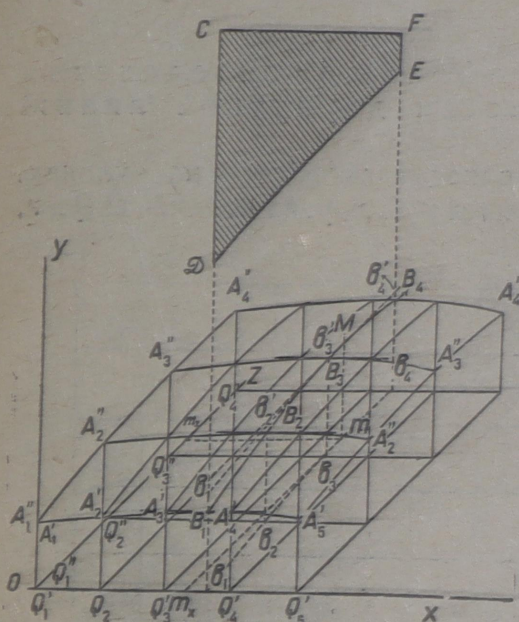
1) Должно быть задано несколько значений $Q'_1, Q'_2 \dots Q''_1, Q''_2 \dots$. Значения Q' откладываются по оси OX , значения Q'' — по оси OY (в произвольном масштабе).

2) Определяются соответствующие значения средних скоростей на перегоне $v'_1, v'_2 \dots v''_1, v''_2 \dots$;

3) Определяются соответствующие значения величин:

$$\frac{1}{Q'v'} + \frac{1}{Q''v''} \left(\frac{\alpha + \beta'\varphi}{\alpha + \beta'} \right) + \frac{t'_0 + \psi t''_0}{Q'} \quad \text{и} \quad \frac{1}{Q'v'} + \frac{1}{Q''v''} \left(\frac{\alpha + \beta'\varphi}{\alpha + \beta'} \right) + \frac{t'_0 + \psi t''_0}{Q''\psi}.$$

для различных комбинаций $Q'_1Q''_1, Q'_1Q''_2 \dots Q'_2Q''_1, Q'_2Q''_2 \dots$ и откладываются по ординатам (параллельным осям OY), проведенным через точки



Черт. 50.

пересечения линий, параллельных осям OX и OZ , на которых откладываются заданные значения Q' (по оси OX) и Q'' (по оси OZ).

4) Соединив концы построенных ординат, получим ряд кривых линий в плоскостях, параллельных плоскости YOX (соответствующие различным комбинациям $Q'' - Q'$), и в плоскостях, параллельных плоскости YOZ (соответствующих комбинациям $Q' - Q''$). Совокупность всех линий определяет поверхность, высшая точка которой соответствует искомому максимуму.

Отыскание этой высшей точки производится следующим образом.

5) Отыскиваются высшие точки кривых A''_1, A''_2, \dots , для чего к ним проводятся касательные линии, параллельные оси OX . Точки касания B_1, B_2, \dots соответствуют высшим точкам этих кривых, а кривая B_1B_2, \dots представляет собою их геометрическое место.

6) Находится проекция линии B_1B_2, \dots , для чего из точек B_1, B_2, \dots опускаются перпендикуляры на плоскость OXZ . Точки b_1, b_2 пересечения этих перпендикуляров с линиями Q''_1, Q''_2, \dots , параллельными оси OX , представляют собою проекции точек B_1, B_2, \dots , а линия b_1b_2, \dots — проекцию линии B_1B_2, \dots .

7) Линия $b_1b_2b_3, \dots$ перемещается по вертикальному направлению параллельно самой себе до положения $b'_1b'_2b'_3, \dots$, в котором она коснется линии B_1B_2, \dots . Точка M касания этих кривых соответствует высшей точке поверхности, т. е. искомому максимуму. Практически перемещение линии B_1B_2, \dots может быть произведено следующим способом. Вырезается из бумаги фигура $CDEF$, у которой боковые стороны CD и EF — прямые линии, параллельные оси OY , а нижняя сторона представляет собою кривую b_1b_2, \dots . Фигура $CDEF$ перемещается по вертикальному направлению так, чтобы линии CD и EF перемещались соответственно по прямым b_1B_1 и b_2B_2 . Перемещение производится до тех пор, пока сторона DC не займет положения $b'_1b'_2, \dots$ касательного к линии B_1B_2, \dots в точке M .

8) На кривой b_1b_2, \dots отыскивается проекция m точки M и на осях X и Z — проекции m_x и m_z . Величины отрезков Om_x и Om_z определяют соответствующие значения Q' и Q'' . На ординатах можно откладывать значения R', R'' или $R' + R''$, тогда ордината mM даст сразу значение $\max R'$ или $\max R''$, или $\max (R' + R'')$.

Примечание. Для ясности чертежа рекомендуется ось OZ провести под углом в 45° к оси OX (вверх и вправо) и масштаб значений Q'' (по оси OZ) брать в $\sqrt{2}$ раза больше масштаба значений Q' , т. е. определенное значение Q'' должно измеряться диагональю квадрата, сторона которого соответствует такому же значению Q' .

9) Значения v' и v'' , соответствующие Q' и Q'' , отыскиваются по диаграмме $v = \varphi(Q)$ (черт. 49).

3. Определение состава поезда, соответствующего наименьшей стоимости перевозок

82. Для решения этой задачи должно быть составлено выражение стоимости перевозок. Стоимость перевозок должна быть разбита на группы расходов, зависящих от величины состава поезда $Q'_1, Q'_2, \dots, Q''_1, Q''_2, \dots$, от скорости движения $v'_1, v'_2, \dots, v''_1, v''_2$ и от произведений $Q'_1v'_1, Q'_2v'_2, \dots, Q''_1v''_1, Q''_2v''_2, \dots$ и расходов от этих величин не зависящих. Последняя группа при решении настоящей задачи может быть отброшена.

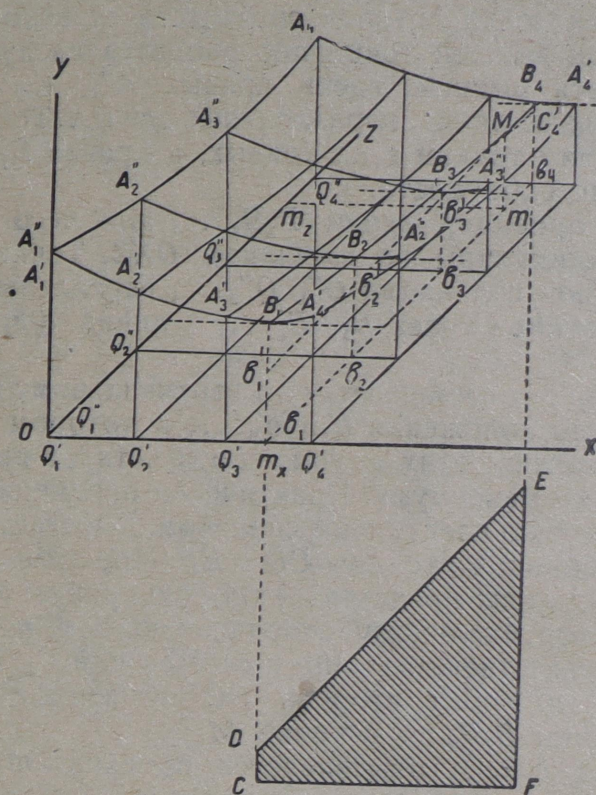
Выражение части стоимости перевозок, зависящей от величины состава поезда и скорости движения, после приведения подобных членов может быть представлено в виде:

$$a_1 + \varepsilon_1 = Af_1(Q') + Bf_2(Q'') + C\varphi_1(v') + D\varphi_2(v'') + E\psi_1(Q'v') + F\psi_2(Q''v''),$$

где a_1 — расходы по амортизации и ε_1 — эксплуатационные расходы.

Для определения величин расходов по отдельным группам должны быть определены измерители (путем расчета) и стоимость единицы измерителя (на основании статистических и отчетных данных).

После составления выражения стоимости перевозок нужно найти минимум полученного выражения. Эта задача решается графически подобно



Черт. 51.

тому, как было указано в § 81 при определении состава поезда, соответствующего наибольшей пропускной способности для однопутных линий (черт. 51).

По оси OX откладываются значения Q' , по оси OZ значения Q'' и по оси OY — значения $(a_1 + \varepsilon_1)$, соответствующие различным комбинациям $Q'Q''$.

Дальнейший ход решения совершенно такой же, как в указанном выше случае.

I. Задание

A hand-drawn cross-section diagram of a road or canal bed. The diagram shows a profile with a central high point and sloping sides. Below the profile, there are numerical values for elevation and distance. The elevation values are written in a grid-like fashion, with some values being fractions or decimals. The distance values are written along the bottom axis, with some values being fractions or decimals. The diagram is labeled with 'A' at the top left and 'D' at the top right. The bottom axis is numbered from 1 to 25.

Черт. 52.

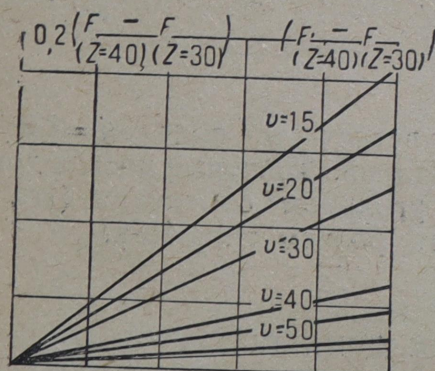
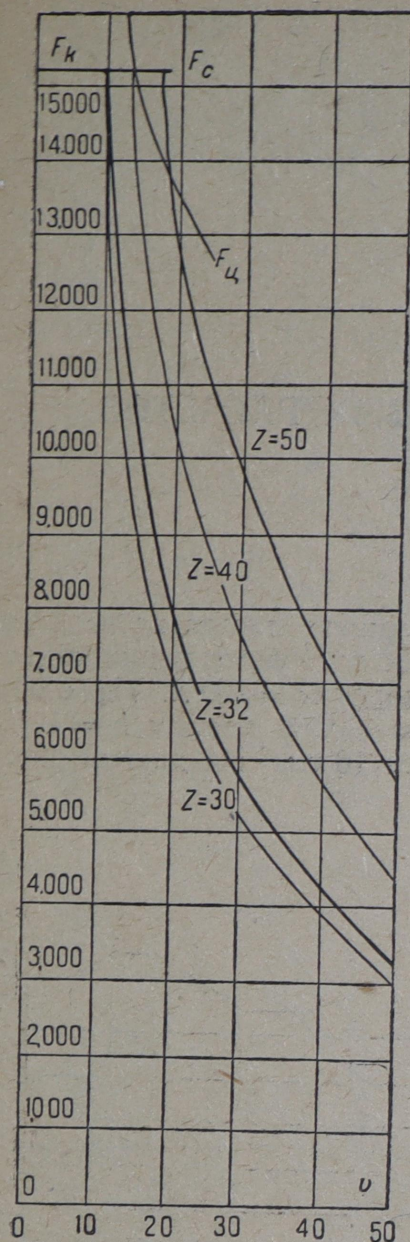
гоне при пересечении других железных дорог встречается подъем $i=8,5\%$ длиной $l=1\,000\text{ м}$, следующий за длинной площадкой. Товарные поезда должны обслуживаться паровозами сер. Э на угольном отоплении (уголь подмосковный). Верхнее строение пути имеет рельсы типа III-а.

II. Определение основных данных

1. Построение диаграммы силы тяги паровоза (§§ 6, 7, 8, 9, 10)

84. Для расчетов будем пользоваться касательной силой тяги (на ободе). Для паровозов сер. Э, работающих на подмосковном угле среднего качества, интенсивность парообразования может быть принята $z = 32 \text{ кг.}$

Диаграмма силы тяги паровоза должна быть построена по кривым силы тяги, имеющимся в паспортной книжке паровоза



Черт. 53.

В паспортной книжке имеются кривые силы тяги для $z = 30$ и $z = 40$. Для построения кривой силы тяги для нашего случая ($z = 32$) определяем значения v (для малых скоростей) и значения F (для больших скоростей) путем интерполяции, а именно:

$$v_{(z=32)} = v_{(z=30)} + \frac{[v_{(z=40)} - v_{(z=30)}] (32 - 30)}{(40 - 30)} =$$

$$= v_{(z=30)} + 0,2 (v_{(z=40)} - v_{(z=30)});$$

$$F_{(z=32)} = F_{(z=30)} + \frac{[F_{(z=40)} - F_{(z=30)}] (32 - 30)}{(40 - 30)} =$$

$$= F_{(z=30)} + 0,2 (F_{(z=40)} - F_{(z=30)}).$$

Отложив на диаграмме найденные значения F и v и соединив полученные точки кривой, построим диаграмму $F_k = \varphi_k(z, v)$ для $z = 32$ (черт. 53).

Изменение отрезков $(F_{(z=40)} - F_{(z=30)})$ в отношении $\left(\frac{40 - 30}{32 - 30}\right)$ может быть произведено графически, как указано на чертеже 53.

2. Определение состава (веса) поезда (§§ 74, 75, 76, 77).

85. Вес поезда определяем из условия движения поезда с установившейся скоростью на руководящем подъеме, т. е. из уравнения:

$$F_k - W_k = F_k - (w'_0 + i_k)P + (w''_0 + i_h)Q = 0$$

или, при подсчете основного сопротивления паровозов и вагонов по одинаковым формулам, из уравнения:

$$F_k - (w_0 + i_k)(P + Q) = 0,$$

откуда:

$$Q = \frac{F_k}{w_0 + i_k} - P.$$

Скорость v должна быть выбрана такой, при которой по возможности полностью используется сила тяги паровоза, т. е. скорость, соответствующая точке пересечения кривой силы тяги, ограниченной по котлу, с линией силы тяги, ограниченной по сцеплению, или по машине при условии, чтобы скорость v была не меньше 10 км/ч . В нашем случае эта скорость составляет: $v = 10 \text{ км/ч}$ и соответствующая ей сила тяги: $F_k = 15200 \text{ кг}$.

В задании указано, что кроме руководящего подъема $i_k = 6 + \frac{750}{R} = 6 + \frac{750}{750} = 7 \left(\frac{750}{R} - \text{сопротивление кривой} \right)$ встречается подъем $i = 10\text{‰}$ протяжением 10 км и $i = 8,5\text{‰}$ протяжением 1000 м . Если бы мы определили

вес поезда по одному из этих подъемов, то получили бы вес слишком малым для всего участка, что невыгодно отразилось бы на эксплуатации дороги

$$\text{(при } i = 8,5\text{‰} \text{ } Q = \frac{F_k}{w_0 + i} - P = \frac{15\,200}{(1,5 + 0,05v) + 8,5} - 127 = \frac{15\,200}{10,5} - 127 = 1\,323 \text{ т,}$$

$$\text{а при } i = 10\text{‰} \text{ } Q = \frac{15\,200}{2 + 10} - 127 = \frac{15\,200}{12} - 127 = 1\,140 \text{ т).}$$

Поэтому определим вес поезда по руководящему подъему $i_k = 7\text{‰}$ с применением для затяжного подъема $i = 10\text{‰}$ толкача, а для короткого подъема $i_k = 8,5\text{‰}$ —способа использования живой силы поезда и займа у котла.

$$\text{Вес поезда по руководящему подъему } i = 7\text{‰} \text{ составит: } Q = \frac{F_k}{w_0 + i} - P,$$

где для данного случая $F_k = 15\,200 \text{ кг}$, $w_0 = 1,5 + 0,05v = 1,5 + 0,05v \cdot 10 = 2 \text{ кг/т}$, $i = 7\text{‰}$ и $P = 127 \text{ т}$.

Следовательно, $Q = \frac{15\,200}{2 + 7} - 127 = 1\,690 - 127 = 1\,563 \text{ т}$, что при среднем весе вагона 20 т составляет: $\frac{1\,563}{20} = 78$ вагонов.

Определив Q , мы должны проверить возможность преодоления затяжного подъема при помощи двойной тяги и выгоды этого способа и преодоление короткого подъема с разгона.

При двойной тяге будем иметь (§§ 12, 77) для случая постановки паровоза в хвосте поезда:

$$F_k + 0,8 F_{k(\text{толк})} (w_0 + i) (P + P_{\text{толк}} + Q) = 0,$$

откуда:

$$\begin{aligned} F_{k(\text{толк})} &= \frac{(w_0 + i) (P + P_{\text{толк}} + Q) - 15\,200}{0,8} = \\ &= \frac{(1,5 + 0,05 \cdot 10 + 10) \cdot (127 + P_{\text{толк}} + 1\,563) - 15\,200}{0,8} = \\ &= \frac{12(1\,690 + P_{\text{толк}}) - 15\,200}{0,8} = (6\,035 + 15 P_{\text{толк}}) \text{ кг.} \end{aligned}$$

Нужно подобрать паровоз, сила тяги которого F_k и вес $P_{\text{толк}}$ удовлетворяли бы означенному равенству. Этому условию удовлетворяет паровоз сер. ОВ ($F_k = 8\,300 \text{ кг}$ и $P = 95 \text{ т}$). Целесообразность применения двойной тяги проверим по формуле:

$$\frac{Q_2 - Q_1}{Q_1} > \frac{l_m}{l} \quad (\S 77).$$

Для нашего случая $Q_2 = 1\,563$, $Q_1 = 1\,140$, $l_m = 10$ и $l = 130$, следовательно, имеем:

$$\frac{1\,563 - 1\,140}{1\,140} = \frac{423}{1\,140} = 0,37, \text{ что больше } \frac{10}{130} = 0,08.$$

Следовательно, в данном случае применение двойной тяги рационально.

Проверку возможности преодоления подъема $i = 8,5$ до получения значений ускоряющих усилий можно произвести только предварительную (§§ 75, 76) по формуле:

$$l = \frac{v_2^2 - v_1^2}{242 \left(w_0 + i - \frac{F}{P + Q} \right)}.$$

Так как мы еще не имеем данных для точного определения скоростей на различных элементах профиля, то определим скорость разгона поезда на площадке приблизительно по мощности паровоза (§§ 52). Для

этого определим значения уклонов, на которых поезд развивает скорости $v = 20 \text{ км/ч}$, $v = 30 \text{ км/ч}$ и $v = 40 \text{ км/ч}$, из уравнения:

$$i = \frac{\alpha(w_{0p} + i_p)v_p}{v} - w_0.$$

В нашем случае $w_{0p} = 1,5 + 0,05 \cdot 10 = 2$; $i_p = 7$; $v_p = 10$, $w_0 = 1,5 + 0,05v$, следовательно:

для $v = 20 \text{ км/ч}$ при $\alpha = 1,02$:

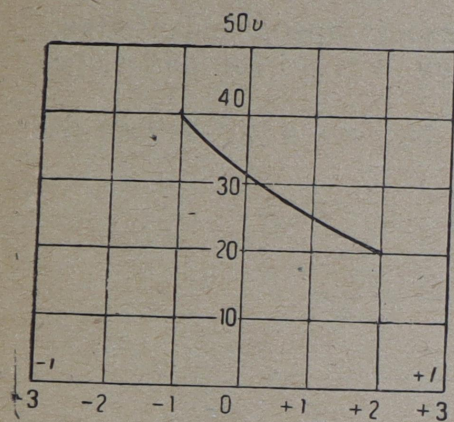
$$i = \frac{1,02 \cdot (2+7) \cdot 10}{20} - (1,5 + 0,05 \cdot 20) = 2,09;$$

для $v = 30 \text{ км/ч}$ при $\alpha = 1,06$:

$$i = \frac{1,06 \cdot 90}{30} - (1,5 + 0,05 \cdot 30) = 0,18$$

и для $v = 40 \text{ км/ч}$ при $\alpha = 1,10$:

$$i = \frac{1,10 \cdot 90}{40} - (1,5 + 0,05 \cdot 40) = -1,03.$$



Черт. 54.

Построим кривую $v = f(i)$ (черт. 54) в пределах принятых нами скоростей и определим по ней скорость v , соответствующую $i = 0$. Скорость $v = 32 \text{ км/ч}$. С этой скоростью поезд может подойти к началу подъема. Конечная скорость, с которой поезд должен выйти с подъема, должна быть не менее 8 км/ч . Средняя величина скорости составляет:

$$\frac{32 + 8}{2} = 20 \text{ км/ч}.$$

Этой скорости соответствуют сила тяги при $z = 32$ равная 7950 кг и сопротивление $w_0 = (1,5 + 0,05 \cdot 20) = 2,5$. Подставляя полученные величины в выражение длины пути, получим:

$$l = \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{242 \left(w_0 + i_k - \frac{F}{(P + Q)} \right)} = \frac{32^2 - 8^2}{242 \cdot \left(2,5 + 8,5 - \frac{7950}{1690} \right)} = \frac{(1024 - 64)}{242 \cdot (11 - 4,71)} = 630 \text{ м},$$

т. е. менее заданной длины, что неприемлемо. В виду этого произведем проверку при условии использования займа у котла, для чего определим силу тяги F_k при $v = 20$ по кривой $F_k = \varphi_k(z, v)$, соответствующей $z = 50$.

В этом случае сила тяги $F_k = 13000 \text{ кг}$ и

$$l = \frac{(v_1^2 - v_2^2)}{242 \left(w_0 + i_k - \frac{F}{P + Q} \right)} = \frac{32^2 - 8^2}{242 \cdot \left(2,5 + 8,5 - \frac{13000}{1690} \right)} = 1200 \text{ м}.$$

Приближенная проверка указывает, что преодоление подъема $i = 8,5$ длиной 1000 м осуществима при использовании займа у котла до $z = 50$.

При средней скорости $v = 20 \text{ км/ч}$ на проход элемента длиной 1000 м потребуется время: $t = \frac{1000 \cdot 60}{20} = 3 \text{ мин}$. За это время расход пара составит:

$$z H \frac{t}{60} = 50 \cdot 194,4 \cdot \frac{3}{60} = 486 \text{ кг},$$

что вполне допустимо.

3. Определение значений силы тяги

86. Для дальнейших расчетов мы должны иметь значения F_k и $f_k = \frac{F_k}{(P+Q)}$ для различных скоростей. Значения F_k получаются непосредственно из диаграммы $F_k = \varphi_k(z, H)$ (черт. 53). Значения f_k определим подсчетом. Полученные значения приведены в таблице 26 определения ускоряющих усилий (стр. 135).

4. Определение сопротивления поезда (§§ 21, 22, 23, 24)

87. Полное сопротивление поезда составляет:

$$W_k = W'_k + W''_k = w'_k P + w''_k Q = [(w'_0 P + w''_0 Q) \pm i_k (P + Q)]$$

и удельное основное сопротивление:

$$w_0 = \frac{w'_0 P + w''_0 Q}{P + Q}.$$

Сначала определим w'_0 и w''_0 .

При определении w'_0 будем иметь два случая: 1) работа паровоза с открытым регулятором и 2) движение паровоза с закрытым регулятором. Для первого случая удельное основное сопротивление паровоза определим одинаково с сопротивлением вагонов по формуле: $w_0 = 1,5 + 0,05v$. Для второго случая сопротивление w'_0 получаем по паспортной книжке паровоза сер. Э.

Для получения удельного основного сопротивления всего поезда при движении паровоза с закрытым регулятором нужно определить сначала значение $W'_0 = (w'_0 + w_3)P$ и $W''_0 = w''_0 Q$ и затем $w_0 = \frac{(w'_0 + w_3)P + w''_0 Q}{P + Q}$. Значения w'_0 ,

w''_0 , w_0 , W'_0 и W''_0 приведены в таблице 26 определения ускоряющих усилий.

Сопротивление на уклонах будет отличаться для всех скоростей на величину $\pm i$ для удельного сопротивления и на величину $\pm i(P + Q) = \pm 1690i$ для полного сопротивления.

5. Определение числа тормозов и тормозных усилий (§§ 26, 27)

88. Для дальнейших расчетов нам нужно иметь значения удельных тормозных усилий b_k , которые определяются по формуле: $b_k = 1000\varphi_k\vartheta$. Величину φ_k определим по формуле $\varphi_k = 0,20 - 0,0015v$.

Величина ϑ определяется по формуле:

$$\vartheta = \frac{P_{m(nap)}\delta_{k(nap)} + P_{m(mend)}\delta_{k(mend)} + Q_m\delta_{k(sat)}}{(P + Q)},$$

где для данного случая $P_{m(nap)} = 80,2 \text{ т}$; $P_{m(mend)} = 28,1 \text{ т}$; $P = 127 \text{ т}$; $Q = 1563 \text{ т}$; $\delta_{k(nap)} = 0,5$; $\delta_{k(mend)} = 0,6$ и $\delta_{k(sat)} = 0,5$.

Тормозной вес вагонов, соответствующий определенному количеству вагонных тормозов, должен быть достаточным для возможности остановки оторвавшейся на подъеме части поезда, начавшей двигаться обратно и достигнувшей скорости $v = 15 \text{ км/ч}$ (§ 44).

Количество тормозов может быть взято по таблице или диаграмме (§ 45).

При неимении таблиц число тормозов должно быть определено, для чего предварительно должна быть найдена зависимость между v , ϑ и i (§§ 42, 43, 44, 45).

Для этого задаемся четырьмя значениями:

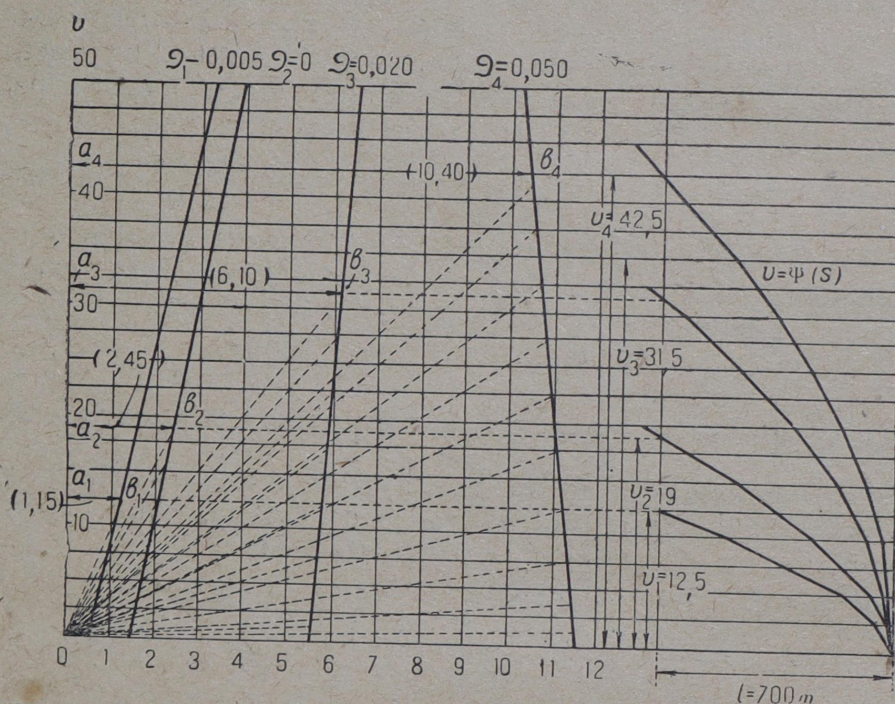
$$\vartheta_1 = -0,005; \vartheta_2 = 0; \vartheta_3 = 0,02 \text{ и } \vartheta_4 = 0,05.$$

Для каждого значения ϑ строим кривую $(w_0 + 1000\varphi_k\vartheta) = f(v)$, для чего определяем предварительно значения w_0 и b_k (таблица 24):

Т а б л и ц а 24

v км/ч	w_0	φ_k	$b_k = 1000 \varphi_k \vartheta$ при $\vartheta =$				$(w_0 + b_k)$ при $\vartheta =$			
			-0,005	0	0,020	0,050	-0,005	0	0,020	0,050
0	1,5	0,20	-1	0	4,00	10	0,5	1,5	5,5	11,50
10	2,0	0,185	-0,925	0	3,70	9,250	1,075	2,0	5,7	11,25
20	2,5	0,17	-0,85	0	3,40	8,500	1,650	2,5	5,9	11,00
30	3,0	0,155	-0,775	0	3,10	7,750	2,225	3,0	6,1	10,75
40	3,5	0,14	-0,70	0	2,80	7,000	2,800	3,5	6,3	10,50
50	4,0	0,125	-0,625	0	2,50	6,250	3,375	4,0	6,5	10,25

Имея значения величин для построения кривых $(w_0 + 1000\varphi_k\vartheta) = f(v)$, мы можем построить эти кривые для выбранных нами значений ϑ и по этим кривым по способу Липца построить кривые $v = \psi(s)$. Построение кривых произведено на черт. 55.



Черт. 55. Диаграмма изменения скорости движения поезда при торможении при различных значениях тормозного коэффициента.

При построении кривых приняты масштабы:
 ускоряющих усилий $(f - w)$ 1 кг/т в $k = 10$ мм;
 скоростей (v) 1 км/ч в $m = 2,5$ мм;

$$\text{пути } (s) \text{ км в } \frac{\text{км}^2}{k} = \frac{120 \cdot 2,5^2}{10} = 75 \text{ мм.}$$

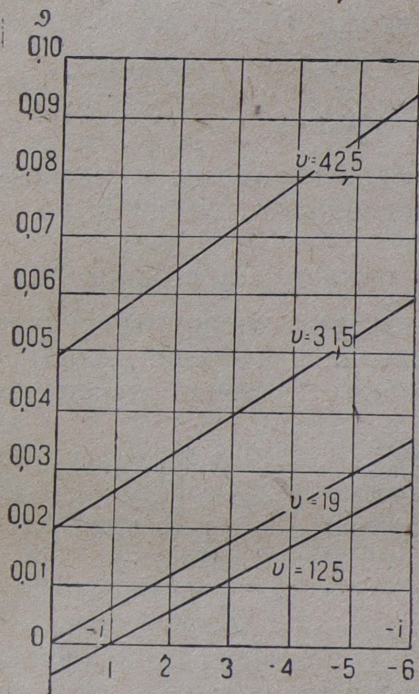
По построенным кривым $v = \psi(s)$ определяем для тормозного пути $s = 700$ м скорости и численные величины $\frac{ab}{k} = (w_0 + i_k + 1000\varphi_k\vartheta)$ для всех принятых значений.

Для каждого значения v определим из уравнения $i + m\vartheta + n = 0$, где $m = 1000\varphi_k$ и $n = w_0 - \frac{ab}{k}$, зависимость между ϑ и i в виде: $\vartheta = -\frac{i+n}{m} \Rightarrow$
 $= \frac{\frac{ab}{k} - w_0 - i}{1000\varphi_k}$ и построим соответствующую диаграмму $\vartheta = f(i)$ (черт. 56).

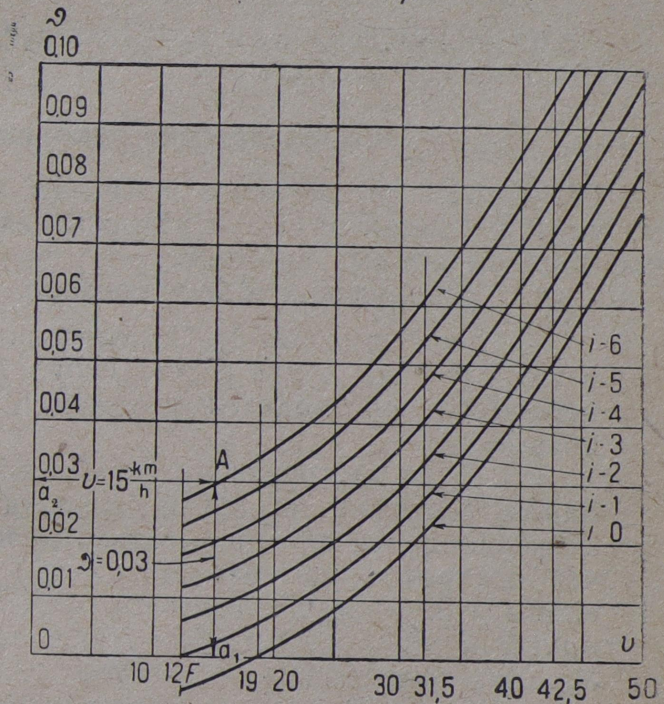
Так как при определенном значении v между ϑ и i получается линейная зависимость, то достаточно определить для построения кривых $\vartheta = f(i)$ по два значения ϑ . Определение необходимых величин произведено в таблице 25.

Т а б л и ц а 25.

Численная величина $\frac{ab}{k}$		w_0	$1\,000\varphi_k$	ϑ	
				при $i = 0$	при $i = -6$
4 2,	10,40	3,625	136,5	0,0495	0,0935
31,	6,10	3,075	153,0	0,0195	0,0591
19	2,45	2,45	171,5	0	0,035
12, 5	1, 15	2,155	183,4	— 0,0053	0,0275

ДИАГРАММА ЗНАЧЕНИЙ ТОРМАЗНОГО
КОЭФФИЦИЕНТА $\vartheta = f(i)$ 

Черт. 56.

ДИАГРАММА ЗНАЧЕНИЙ ТОРМАЗНОГО
КОЭФФИЦИЕНТА $\vartheta = f(v)$ 

Черт. 57.

По полученной диаграмме $\vartheta = f(i)$ (черт. 56) определяем значения ϑ для $i = -6$ для полученных скоростей $v = 42,5$, $v = 31,5$, $v = 19$ и $v = 12,5$ и строим диаграмму $\vartheta = \varphi(v)$ (черт. 57). По диаграмме определяем значение ϑ , соответствующее $i = -6$ и $v = 15$.

Для этого случая получим $\vartheta = 0,03$. Зная ϑ , определяем тормозной вес вагонов из уравнения: $\vartheta = \frac{Q'}{Q} \delta_k$, откуда: $Q' = \frac{\vartheta Q}{\delta_k} = \frac{0,03 \cdot 1563}{0,5} = 93,78 \text{ т.}$

При весе тары тормозного вагона 8 т получим: $\frac{93,78}{8} = 12$ тормозных вагонов, или: $\frac{12}{78} = 15\%$ всего числа вагонов.

Зная число тормозов в поезде, можем определить тормозное усилие поезда: $b_k = 1000 \varphi_k \vartheta$, где:

$$\vartheta = \frac{P_{m(nap)} \delta_{k(nap)} + P_{m(mend)} \delta_{k(mend)} + Q_m \delta_{k(sar)}}{(P + Q)}.$$

При подходе к станциям рекомендуется производить расчет на торможение только паровозом и тендером. В этом случае получим:

$$\vartheta = \frac{P_{m(nap)} \delta_{k(nap)} + P_{m(mend)} \delta_{k(mend)}}{(P + Q)}.$$

Принимая $\delta_{k(nap)} = \delta_{k(sar)} = 0,5$ и $\delta_{k(mend)} = 0,6$ (при запасе воды и топлива в 10%) и принимая тормозной вес паровоза равным его сцепному весу (в рабочем состоянии) и тормозной вес тендера и вагонов равным весу их тары, получим при торможении паровоза, тендера и вагонов:

$$\vartheta = \frac{80,2 \cdot 0,5 + 25 \cdot 0,6 + 12 \cdot 8 \cdot 0,5}{1690} = \frac{40,1 + 15 + 48}{1690} = 0,061,$$

а при торможении только паровоза и тендера:

$$\vartheta = \frac{80,2 \cdot 0,5 + 25 \cdot 0,6}{1690} = 0,0325.$$

Подсчет значений φ_k и $b_k = 1000 \varphi_k \vartheta$ произведен в таблице ускоряющих усилий (таблица 26).

6. Определение ускоряющих усилий

89. Определив значения силы тяги, сопротивления поезда и тормозных усилий, найдем значения ускоряющих и замедляющих усилий для горизонтальных прямых участков.

Расчет ускоряющих и замедляющих усилий приведен в таблице 26.

Примечания. 1. Определение ускоряющих усилий требуется в тех случаях, когда расчет скорости движения и времени прохода перегонов производится путем интегрирования уравнения движения поезда.

2. Если построена диаграмма значений $F_k = \varphi_k(v)$ и $W_0 = f(v)$ (на одном чертеже), то для построения диаграммы ускоряющих усилий нет надобности подсчитывать отдельно значения f_k и w_0 . В этом случае построение диаграммы $(f_k - w_0) = f(v)$ можно произвести следующим способом. Должны быть измерены отрезки ординат между кривыми $F_k = \varphi_k(v)$ и $W_0 = f(v)$ и по масштабу определены значения $F_k - W_0$ для разных скоростей v . Разделив полученные значения $(F_k - W_0)$ на $(P + Q)$, получим соответствующие величины $(f_k - w_0)$, по которым и строим диаграмму $(f_k - w_0) = f(v)$ в определенном масштабе.

3. Имея в виду, что при малых скоростях сопротивление увеличивается, примем сопротивление поезда при $v = 0$ таким же, как и при $v = 10$, а не по формуле $w_0 = 1,5 + 0,05v$.

7. Определение предельной допускаемой скорости движения (§§ 46, 49)

90. Предельная скорость движения не должна превышать:

1) конструкционной скорости локомотива, которая для паровоза сер. Э составляет 50 км/ч;

ОПРЕДЕЛЕНИЕ УСКОРЯЮЩИХ И ЗАМЕДЛЯЮЩИХ УСИЛИЙ

Таблица 26.

Скорости v	Сила тяги		Сопротивление поезда							Тормозное усилие		Ускоряющие и замедляющие усилия																																																																																							
	полная	удельная $f_k = \frac{F_k}{P+Q}$	вагонов	паровоза при закрытом регуляторе	Сопротивление всего поезда (вагонов и паровоза)		удельное	полное $W_0 = w_0''(P+Q)$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$ при закрытом регуляторе $W_3 = (w_0 + w_3)P + w_0''Q$	полное $W_$

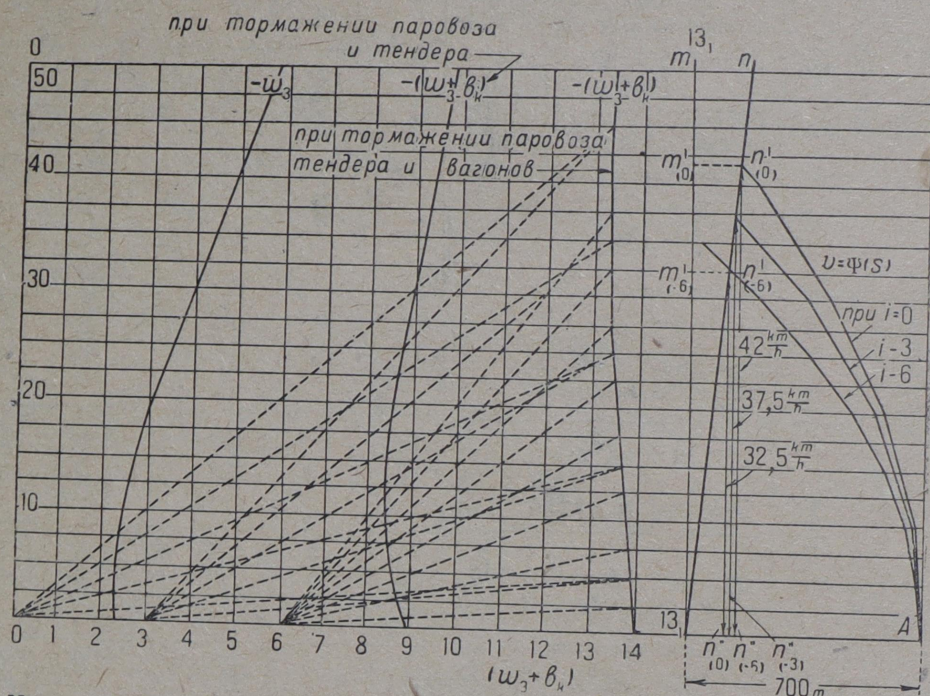
2) скорости, соответствующей верхнему строению пути, которая для паровоза сер. Э при рельсах III-а соответствует конструкционной, т. е. 50 км/ч;
 3) скорости, обеспечивающей остановку поезда на протяжении 700 м за вычетом пути, проходимого поездом в 12 секунд¹⁾. Это последнее условие проверяем расчетом, для чего строим кривые $v = \psi(s)$ по способу Липеца (черт. 58) по кривой замедляющих усилий, соответствующих сопротивлению поезда при закрытом регуляторе и тормозному усилию (из таблицы 26) для нескольких значений уклонов.

Масштаб при построении диаграммы принимаем:

для ускоряющих усилий: $(w'_0 + w'_z + b_k) 1 \text{ кг/т}$ в $k = 10 \text{ мм}$;

для скоростей: $v 1 \text{ км/ч}$ в $m = 2,5 \text{ мм}$;

для пройденного пути: $s 1 \text{ км}$ в $\frac{\zeta m^2}{k} = 75 \text{ мм}$.



Черт. 58. Диаграмма изменения скорости движения поезда при торможении тендера паровоза и вагонов, а также паровоза и тендера без торможения.

Для построения кривой $v = \psi(s)$ лучи к точкам кривой $(w'_0 + w'_z + b_k) = f(v)$ должны проводиться из точек, соответствующих тем уклонам, для которых определяется скорость (на черт. 58 построены три кривые: для $i = -6$, $i = -3$ и $i = 0$). Кривые $v = \psi(s)$ строятся от точки А, соответствующей $v = 0$. Эта точка А соответствует концу тормозного пути. Для получения искомой скорости откладываем влево от точки А по оси OS отрезок АВ, который в заданном масштабе равняется тормозному пути $l = 700 \text{ м}$. Длина отрезка $AB = 0,7 \cdot 75 = 52,5 \text{ мм}$. Через точку В проводим вертикальную прямую BB_1 . От точки m пересечения линии BB_1 с прямой, параллельной оси OS, проведенной через точку оси ординат, соответствующую скорости $v = 50 \text{ км/ч}$ (можно выбрать произвольно какую угодно скорость), откладываем отрезок mn , который в масштабе пути соответствует длине пути, проходимого поездом в 12 секунд при скорости $v = 50 \text{ км/ч}$. Длина отрезка составляет:

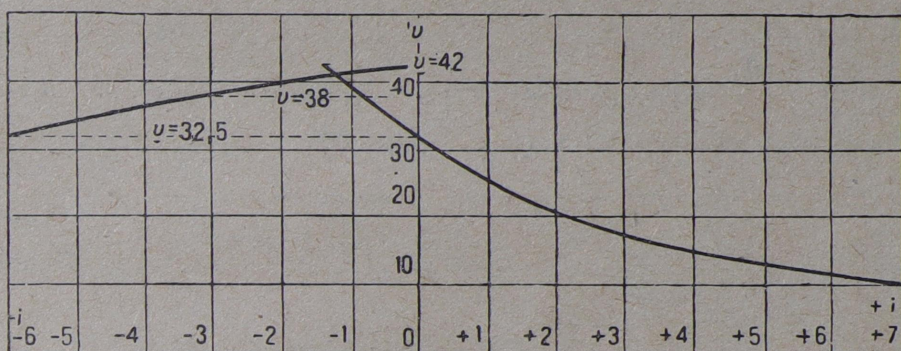
$$mn = \frac{v [\text{км/ч}]}{3600} \cdot t_{(\text{сек})} \left[\frac{\zeta m^2}{k} \right] \text{ мм} = \frac{50 \cdot 12}{3600} \cdot 75 \text{ мм} = 12,5 \text{ мм}.$$

¹⁾ Старые нормы; по новым нормам время до начала торможения 25 секунд, тормозной путь l — от 700 м до 1200 м.

Точку n соединяем прямою сточкой B . Точки $n_{(-6)}$, $n_{(-3)}$, n_0 пересечения линии nB с кривыми $v = \psi(s)$ для уклонов $i = -6$, $i = -3$ и $i = 0$ определяют скорости, удовлетворяющие заданию. Действительно: поезд, идущий с этой скоростью, остановится в точке A , при чем пройдет путь: $\frac{v \text{ [км/ч]} t_{\text{сек}}}{3600} + \frac{n''A}{k}$,

но $\frac{v \text{ [км/ч]} t_{\text{сек}}}{3600} = \frac{v \text{ км/ч}}{3600} \cdot 12 = 0,0033v$ соответствует отрезку $\overline{m'n'} = \overline{Bn''}$. Следовательно, весь тормозной путь составит: $\frac{\overline{Bn''} + \overline{n''A}}{\frac{\zeta m^2}{k}} = \frac{\overline{BA}}{\frac{\zeta m^2}{k}}$, что соответ-

ствует заданной величине 700 м.



Черт. 59. Диаграмма значений скорости движения поезда на различных элементах профиля.

Из диаграммы получаем скорости на спусках $i = -6$ равные $v = 32,5$ км/ч, на спусках $i = -3$ равные $v = 37,5$ км/ч и на площадках $v = 42$ км/ч. Построив по этим значениям кривую $v = f(i)$, можно получить значения v для любого уклона (черт. 59).

Так как ночью машинисту невозможно точно знать, на каком уклоне он находится, то следует назначать для перегона одну предельную скорость.

В нашем случае для перегона AB в направлении AB придется назначить предельную скорость, соответствующую спуску $i = -6$, $v = 32,5$ км/ч, а в обратном направлении по уклону $i = -2,5$, которому соответствует $v = 38$ км/ч, так как, хотя в этом направлении и имеется уклон $i = -6$, но небольшого протяжения.

8. Определение установившихся скоростей движения и времени прохода 1 км на различных элементах профиля (§ 51)

91. Установившаяся скорость движения определяется из условия: $\frac{dv}{dt} = \zeta (f_k - w_k) = 0$, откуда $f_k - w_k = 0$, или $F_k - W_k = 0$. Для графического определения скоростей должна быть построена диаграмма $F_k = \varphi_k(z, v)$ и $w_k = f(v)$ (черт. 61).

Абсциссы точек пересечения этих кривых соответствуют искомым скоростям v . При построении диаграммы $w_k = f(v)$ строим кривую $w_0 = f(v)$ сопротивлений на горизонтальном прямом пути. Сопротивления на уклонах i будут отличаться на величину:

$$\pm i (P + Q) = \pm 1690i.$$

Полученные указанным способом скорости наносим на диаграмму $v = f(i)$ (черт. 59) Зная скорость v , определим время прохода поезда одного

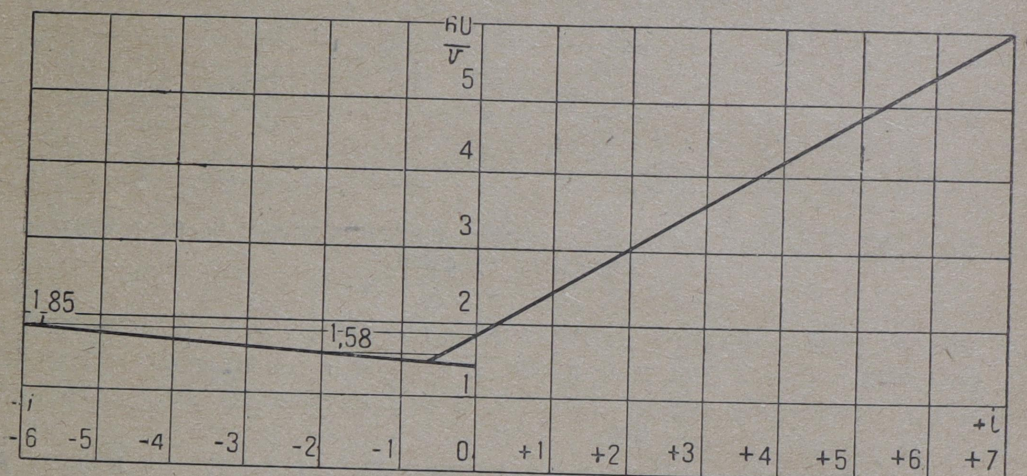
километра на различных уклонах из равенства $t = \frac{60}{v}$ (в минутах). Полученные значения t наносим на диаграмму $t = f_1(i)$ (черт. 60).

Полученные значения скоростей v и времени прохода одного километра $\frac{60}{v}$ для некоторых уклонов (через $i = 1$) приведены в таблице 27.

Т а б л и ц а 27

$\pm i$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
v	32,5	34	35,5	37	38,5	40	32,2	25,5	20,4	17,0	14,5	12,5	11,2	10,0
$\frac{60}{v}$	1,85	1,77	1,70	1,62	1,56	1,50	1,87	2,36	2,94	3,54	4,15	4,80	5,35	6,00

Значения v и $\frac{60}{v}$ для промежуточных уклонов получаются или путем интерполяции, или из диаграмм (черт. 59, 60).



Черт. 60. Диаграмма значения времени прохода 1 км $\left(\frac{60}{v}\right)$ на различных элементах профиля.

Примечание. Скорости движения поезда могут быть получены также по диаграмме ускоряющих усилий (черт. 70). По этой диаграмме скорости измеряются абсциссами точек пересечения кривой $(f_k - w_k - b) = f(v)$ с осями, параллельными оси Ov и проведенными через точки, соответствующие уклонам, для которых определяются скорости.

9. Определение расхода пара на различных элементах профиля (§ 58)

92. Определение расхода пара произведем графическим способом. Для этого нанесем на диаграмме (черт. 61) кривые значения силы тяги $F_k = \varphi_k(z, v)$ для $z_m = 15$, $z_m = 20$, $z_m = 30$, $z_m = 40$ и $z_m = 50$ и сопротивлений $W_k = f(v)$ для различных уклонов при открытом и закрытом регуляторе (последние — для спусков). На этой диаграмме проведем вертикальные прямые nr и n_1r_1 через точки n и n_1 , лежащие на оси Ov и соответствующие предельным допускаемым скоростям движения (для направления AB $v = 32,5$ км/ч и для обратного направления $v = 38$ км/ч).

Через точки пересечения этих вертикальных линий с кривыми силы тяги для различных z_m проведем влево горизонтальные линии и отложим

на них соответствующие значения $z_k = z_m + z_0$ влево от оси 00 . Соединив концы полученных отрезков плавной линией, получим диаграмму котлового расхода пара. Расход пара машиной для уклонов, на которых скорость движения при полном использовании котловой мощности паровоза не превышает предельной, составляет $z_m = 32$ кг и, соответственно, котловой расход пара $z_k = z_m + z_0 = 32 + 1 = 33$ кг. Эти уклоны соответствуют точкам r и r_1 пересечения вертикальных линий nr и n_1r_1 с кривой силы тяги при $z_m = 32$ кг. Расход пара после закрытия регулятора составляет $z_0 = 1$ кг. Уклоны, на которых поезд будет двигаться с предельной допускаемой скоростью при закрытом регуляторе, соответствуют кривым $w_k = f(v)$ при закрытом регуляторе, проведенным через точки n и n_1 на оси абсцисс, соответствующие предельным допускаемым скоростям движения ($v = 32,5$ км/ч и $v = 38$ км/ч). В нашем случае эти точки находятся между кривыми $w_k = f(v)$, при закрытом регуляторе, соответствующими уклонам $i = -4$ и $i = -5$. Интерполируя, находим значения уклонов, на которых может быть закрыт регулятор: для предельной скорости

$$v = 32,5 \text{ км/ч } i = - \left[4 + \frac{(5-4) \cdot 2,5 [\text{мм}]}{12 [\text{мм}]} \right] =$$

$$= - (4 + 0,2) = -4,2 \text{ и для } v = 38$$

$$i = - \left[4 + \frac{(5-4) \cdot 8 [\text{мм}]}{12 [\text{мм}]} \right] =$$

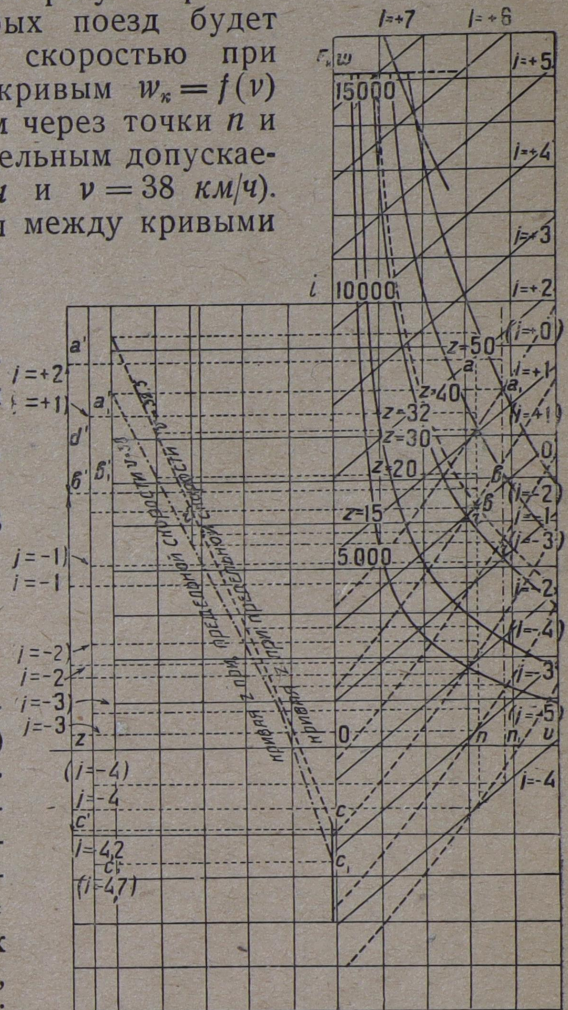
$$= - (4 + 0,7) = -4,7.$$

Для определения масштаба уклонов левой диаграммы (расхода пара) проведем линии aa' и bb' через точки a и b пересечения вертикальной линии nr с какими-либо линиями сопротивления $w_k = f(v)$, — в данном случае с линиями $w_k = f(v)$, соответствующими $i = +2$ и $i = 0$. Вертикальный отрезок $a'a' = 33,5$ мм делим на разницу уклонов, соответствующих точкам a и b ($2 - 0 = 2$); полученный от деления отрезок $a'd' = 16,75$ мм соответствует разнице уклонов $2 - 1 = 1$.

Имея точку, соответствующую какому-либо уклону (в нашем случае точка b' при $v = 32,5$ км/ч соответствует уклону $i = 0$ и точка b'_1 при $v = 38$ км/ч соответствует уклону $i = -2$), находим на диаграмме z_k точки c и c_1 , соответствующие уклонам, на которых может быть закрыт регулятор, и определяем соответственно $z_k = z_m + z_0$; для этого по вертикали вниз откладываем отрезки $b'c' = [0 - (-4,2)] \cdot 16,75 \text{ мм} = 4,2 \cdot 16,75 = 70,35 \text{ мм}$ (для $v = 32,5$ км/ч, и $b'_1c'_1 = [-2 - (-4,7)] \cdot 16,75 = 2,7 \cdot 16,75 = 45,22 \text{ мм}$ (для $v = 38$ км/ч).

Полученную диаграмму для удобства пользования перестраиваем, откладывая по оси абсцисс значения $\pm i$, а по оси ординат значения z_k (черт. 62).

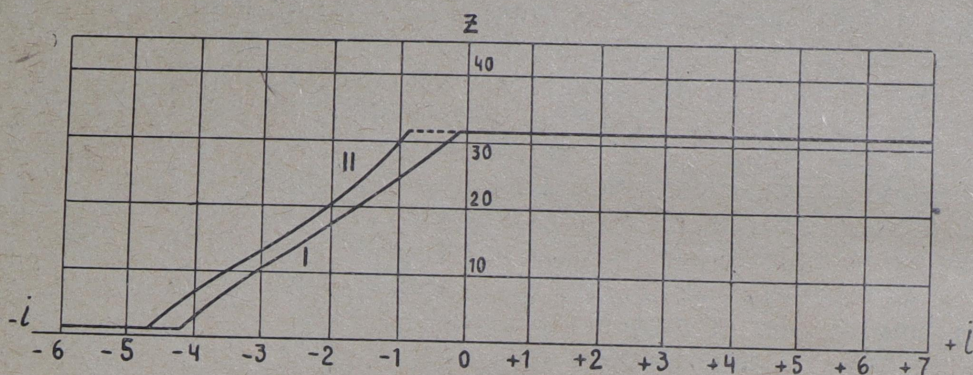
При построении этих кривых должны быть определены точки перелома z_k , т.е. значения уклонов, на которых паровоз начинает работать не с полным использованием парообразования и на которых закрывается регулятор. Последние уклоны определены ($i = -4,2$ для $v = 32,5$ км/ч и $i = -4,7$



Черт. 61. Диаграмма определения расхода пара на различных элементах профиля.

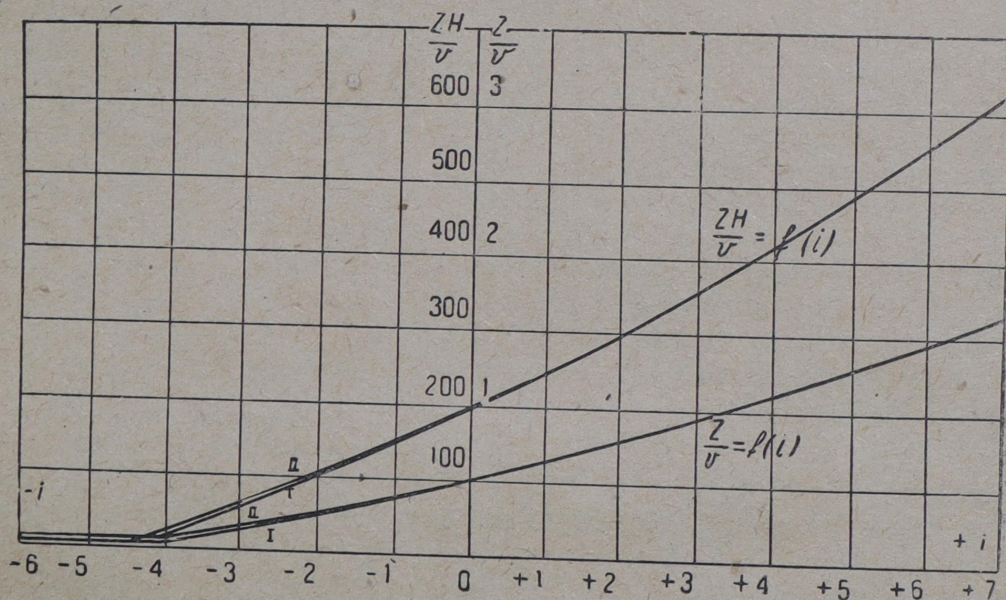
для $v = 38$ км/ч). Другие точки определяются интерполированием или по масштабу; в нашем случае они соответствуют: $i = 0$ для $v = 32,5$ км/ч и $i = -0,75$ для $v = 38$ км/ч.

Промежуточные значения i для кривых $z_k = f(i)$ берутся непосредственно из первой диаграммы (черт. 61).



Черт. 62. Диаграмма расхода пара на различных элементах профиля.

Построенные кривые (черт. 62) дают значения z_k расхода пара с 1 м^2 поверхности нагрева в час. Расход пара на 1 км составляет $\frac{z_k}{v}$ кг с 1 м^2 поверхности нагрева, или $\frac{z_k H}{v}$ кг всего пара.



Черт. 63. Диаграмма расхода пара на 1 км пути с 1 м^2 поверхности нагрева.

$$\frac{z}{v} = f(i) \text{ и полного } \frac{z_k H}{v} = f(i).$$

I. При предельной допускаемой скорости $v = 32,5$ км/ч.

II. При предельной допускаемой скорости $v = 38$ км/ч.

Определение значений $\frac{z_k}{v}$ и $\frac{z_k H}{v}$ для различных уклонов приведено в таблице 28, где уклоны взяты через $i = 1$. Для промежуточных уклонов значе-

Таблица 28

$\pm i$	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	+1	+2	+3	+4	+5	+6	+7
При предельной скорости $v = 32,5$ км/ч														
z_k	1	1	4	12	18	26	33	33	33	33	33	33	33	33
v км/ч	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	32,5	25,5	20,4	17,0	14,5	12,5	11,2	10,0
$\frac{z_k}{v}$	0,031	0,031	0,123	0,37	0,55	0,80	1,02	1,30	1,62	1,94	2,28	2,64	2,95	3,30
$\frac{z_k H}{v}$	6,03	6,03	23,9	72,0	106,0	155,0	198,0	252,0	314,0	376,0	443,0	513,0	573,0	640,0
При предельной скорости $v = 38$ км/ч														
z_k	1	1	8	14	22	31	33	33	33	33	33	33	33	33
v км/ч	38	38	38	38	38	38	32,2	25,5	20,4	17,0	14,5	12,5	11,2	10,0
$\frac{z_k}{v}$	0,026	0,026	0,21	0,37	0,58	0,82	1,02	1,30	1,66	1,94	2,28	2,64	2,94	3,30
$\frac{z_k H}{v}$	5,05	5,05	40,8	71,8	113,0	160,0	198,0	253,0	314,0	377,0	443,0	462,0	572,0	640,0

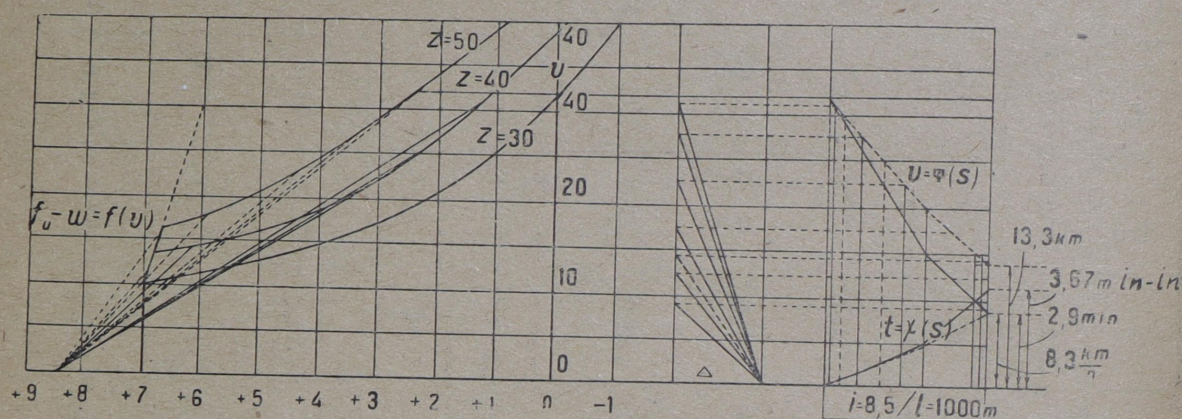
ния $\frac{z_k}{v}$ или $\frac{z_k H}{v}$ получаются путем интерполяции

или по диаграмме (черт 63) (см. табл. 28).

На основании данных таблицы построена диаграмма расхода пара на 1 км пути на различных уклонах: $\frac{z_k}{v} = f(i)$ и $\frac{z_k H}{v} = f_1(i)$ (черт. 63).

0. Проверка возможности преодоления подъема $i = 8,5$ длиной 100 м (§§ 75, 76)

93. При определении веса поезда была сделана лишь приближенная (грубая) проверка возможности преодоления подъема $i = +8,5$ длиной $l = 1000$ м. После того, как определены значения силы тяги, сопротивления, предельная допустимая скорость движения и скорость движения на площадке (для разгона), может быть произведена более точная проверка по способу Липеца и Лебедева.



Черт. 64. Диаграмма изменения скорости движения поезда при преодолении подъема за счет живой силы поезда.

Так как грубая проверка показала, что для преодоления подъема приходится пользоваться займом у котла, то будем пользоваться при расчете кривою силы тяги $F_k = \varphi_k(z, v)$, соответствующей $z = 40$ или, в случае необходимости, $z = 50$.

Строим диаграмму ускоряющих усилий $(f_k - w_k) = \varphi(v)$ при $z = 40$ (черт. 64) и по ней кривую $v = \psi(s)$ для элемента профиля длиной $l = 1000$ м с подъемом $i = +8,5$, следующего за длинной прямой площадкой. На площадке поезд может развить скорость $v = 32,5$ км/ч. Масштабы построения кривых принимаем:

для ускоряющих усилий $(f_k - w_k)$ 1 кг/м в $k = 10$ мм;

скоростей v 1 км/ч в $m = 1,5$ мм;

пути s 1 км в $\frac{\zeta m^2}{k} = \frac{120 \cdot 1,5^2}{10} = 27$ мм;

отрезки $\Delta = 15$ мм;

и времени t 1 мин в $\check{\chi} = \frac{\zeta \Delta m}{60k} = \frac{120 \cdot 15 \cdot 1,5}{60 \cdot 10} = 4,5$ мм.

Из диаграммы видно, что поезд может преодолеть подъем $i = +8,5$ длиной 1000 м с разгона по площадке при помощи займа у котла до $z = 40$, при чем к концу подъема скорость будет 8,3 км/ч.

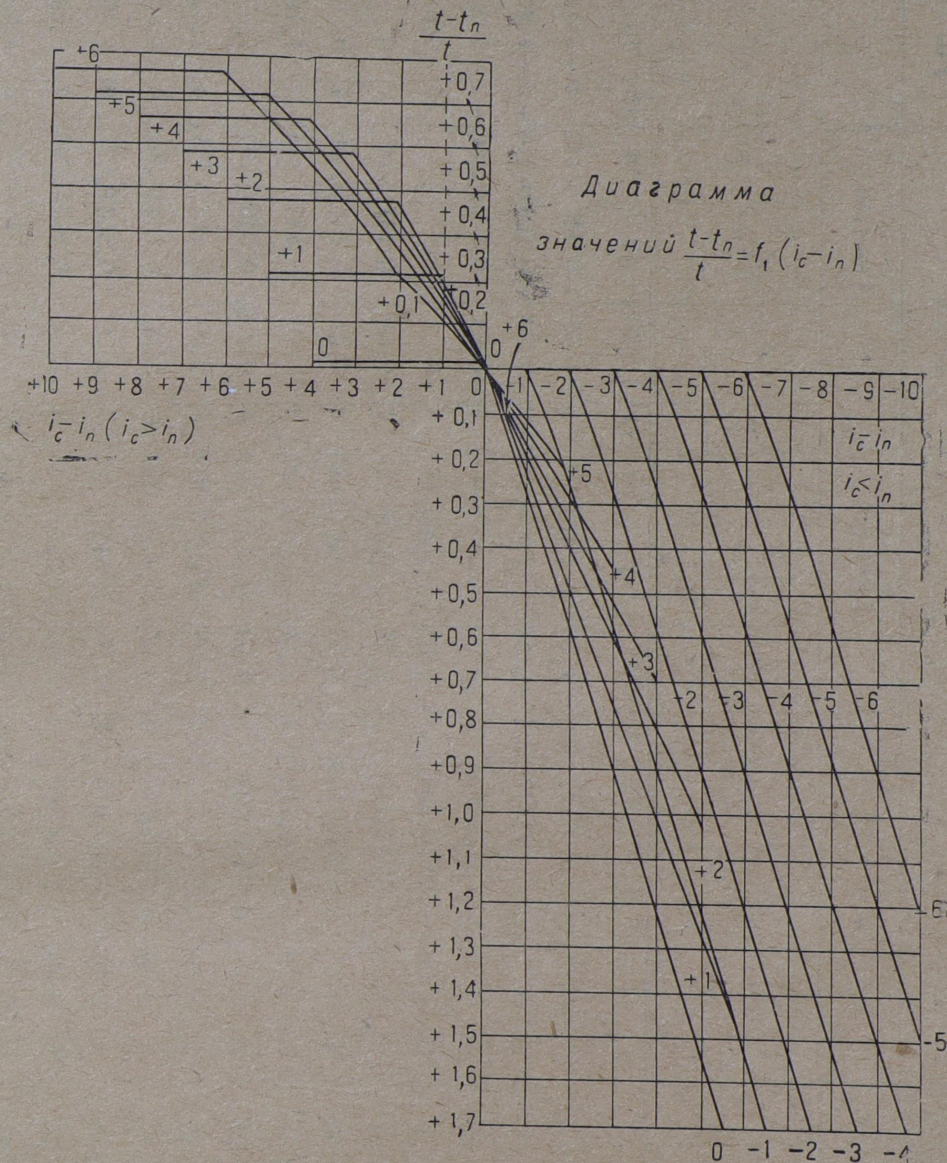
Для прохода этого элемента потребуется 3,67 минуты. Расход пара за это время составит: $z \cdot H \frac{t}{60} = 40 \cdot 194,4 \cdot \frac{3,67}{60} = 475$ кг, что допустимо.

При пользовании кривой силы тяги $F_k = \varphi_k(z, v)$, соответствующей $z = 50$, скорость к концу подъема получает $13,3 \text{ км/ч}$, время прохода составляет $2,9$ минуты и расход пара $zH \frac{t}{60} = 50 \cdot 194,4 \cdot \frac{2,9}{60} = 480 \text{ кг}$. Следовательно, пользование $z = 50$ более целесообразно.

Во всяком случае полученный нами вес поезда $Q = 1563 \text{ т}$ и $(P + Q = 1690 \text{ т})$ может быть принят для данного участка.

III. Спрямление профиля (§§ 68, 69, 70, 71, 72)

94. Из рассмотрения профиля перегона AB можно предположительно вывести заключение, что без нарушения общего характера профиля можно произвести спрямление следующих элементов: $Aa, ab, bc, cd, de, ef, fg, gh, hi, ik$ и kB .



Черт. 65.

При желании произвести спрямление профиля более точным способом спрямление профиля должно быть произведено путем проверки ошибок в подсчете времени и механической работы.

таблица 29

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ $\frac{i-t_n}{t} = f(i-t_n)$ и $a_n = \frac{t}{(i-t_n)} = f_n(i-t_n)$

Спрямляем. уклон ±i и вр. прохода 1 км по Спрямл. укл. t		i = +6			i = +5			i = +4			i = +3			i = +2						
		t = 5,35			t = 4,80			t = 4,15			t = 3,54			t = 2,94						
		u _i - i	$\frac{i}{u_i - i}$	u _n	u _i - i	$\frac{i}{(u_i - i)}$	u _n	u _i - i	$\frac{i}{u_i - i}$	u _n	u _i - i	$\frac{i}{u_i - i}$	u _n	u _i - i	$\frac{i}{u_i - i}$	u _n				
i ±	$\frac{u}{60}(\text{мин}) = t$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1		-1	-0,65	-0,122	0,122	-2	-1,20	-0,250	0,125	-3	-1,85	-0,445	0,148	-4	-2,46	-0,695	0,174	-5	-3,06	-1,04
+7	6	0	0	—	—	-1	-0,55	-0,115	0,115	-2	-1,20	-0,228	0,144	-3	-1,81	-0,510	0,170	-4	-2,41	-0,820
+5	5,35	1	0,55	0,103	0,103	0	0	—	—	-1	-0,65	-0,156	0,156	-2	-1,26	-0,356	0,173	-3	-1,86	-0,632
+4	4,80	2	1,20	0,212	0,106	1	0,65	1,135	0,135	0	0	—	—	-1	-0,61	-0,172	0,172	-2	-1,21	-0,412
+3	4,15	3	1,81	0,338	0,113	2	1,26	0,262	0,131	1	0,61	0,147	0,147	0	0	—	—	-1	-0,60	-0,204
+2	3,54	4	2,41	0,450	0,125	3	1,86	0,387	0,129	2	1,21	0,291	0,146	1	0,60	0,169	0,169	0	—	—
+1	2,94	5	2,99	0,558	0,112	4	2,44	0,508	0,127	3	1,79	0,432	0,144	2	1,18	0,335	0,167	1	0,58	0,197
0	2,36	6	3,48	0,650	0,108	5	2,93	0,610	0,122	4	0,228	0,548	0,137	3	1,67	0,472	0,157	2	1,07	0,364
-1	1,87	7	3,50	0,653	0,093	6	2,95	0,615	0,102	5	2,30	0,554	0,111	4	1,69	0,487	0,122	3	1,09	0,371
-2	1,85	8	3,50	0,653	0,082	7	2,95	0,615	0,088	6	2,30	0,554	0,092	5	1,69	0,487	0,097	4	1,09	0,371
-3	1,85	9	3,50	0,653	0,073	8	2,95	0,615	0,077	7	2,30	0,554	0,079	6	1,69	0,487	0,081	5	1,09	0,371
-4	1,85	10	3,50	0,653	0,065	9	2,95	0,615	0,068	8	2,30	0,554	0,069	7	1,69	0,487	0,069	6	1,09	0,371
-5	1,85	11	3,50	0,653	0,059	10	2,95	0,615	0,062	9	2,30	0,554	0,062	8	1,69	0,487	0,061	7	1,09	0,371
-6	1,85	12	3,50	0,653	0,054	11	2,95	0,615	0,056	10	2,30	0,554	0,055	9	1,69	0,487	0,054	8	1,09	0,371

Таблица 29 (продолжение)

Спрямляем. уклон + i и время прохода 1 км по спрямл. ук- лону t		$i = +1$				$i = 0$				$i = -1$				$i = -2$			
		$t = 2,36$				$t = 1,87$				$t = 1,85$				$t = 1,85$			
		u_{t-1}	$\frac{t}{u_{t-1}}$	u_D	u_{t-1}	$\frac{t}{u_{t-1}}$	u_D	u_{t-1}	$\frac{t}{u_{t-1}}$	u_D	u_{t-1}	$\frac{t}{u_{t-1}}$	u_D	u_{t-1}	$\frac{t}{u_{t-1}}$	u_D	u_{t-1}
$i \mp$	$(\text{ниж}) \frac{1}{09} = i$	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
1	2	-6	-3,64	-1,544	0,257	-7	4,13	-2,210	0,316	-8	-4,15	-2,245	0,281	-9	-4,15	-2,245	0,249
+7	6	-5	-2,99	-1,265	0,253	-6	-3,48	-1,860	0,310	-7	-3,50	-1,890	0,270	-8	-3,50	-1,890	0,236
+6	5,35	-4	-2,44	-1,034	0,258	-5	-2,93	-1,565	0,313	-6	-2,95	-1,595	0,266	-7	-2,95	-1,595	0,228
+5	4,80	-3	-1,79	-0,757	0,252	-4	-2,28	-1,220	0,305	-5	-2,30	-1,243	0,249	-6	-2,30	-1,243	0,207
+4	4,15	-2	-1,18	-0,500	0,250	-3	-1,67	-0,892	0,297	-4	-1,69	-0,913	0,228	-5	-1,69	-0,913	0,183
+3	3,54	-1	-0,58	-0,246	0,246	-2	-1,07	-0,572	0,286	-3	-1,09	-0,588	0,196	-4	-1,09	-0,588	0,147
+2	2,94	0	0	—	—	-1	-0,49	-0,262	0,262	-2	-0,51	-0,276	0,138	-3	-0,51	-0,276	0,092
+1	2,36	1	0,49	0,208	0,208	0	0	—	—	-1	-0,02	-0,018	0,018	-2	-0,02	-0,018	0,010
0	1,87	2	0,51	0,216	0,108	1	0,02	0,011	0,011	0	0	0	0	-1	0	0	0
-1	1,85	3	0,51	0,216	0,072	2	0,02	0,011	0,010	1	0	0	0	0	0	0	0
-2	1,85	4	0,51	0,216	0,054	3	0,02	0,011	0,007	2	0	0	0	1	0	0	0
-3	1,85	5	0,51	0,216	0,043	4	0,02	0,011	0,005	3	0	0	0	2	0	0	0
-4	1,85	6	0,51	0,216	0,036	5	0,02	0,011	0,004	4	0	0	0	3	0	0	0
-5	1,85	7	0,51	0,216	0,031	6	0,02	0,011	0,003	5	0	0	0	4	0	0	0
-6	1,85																

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ $(w_k - w_n)$ и $\beta = \frac{(w_k - w_n)}{(i - i_n)}$

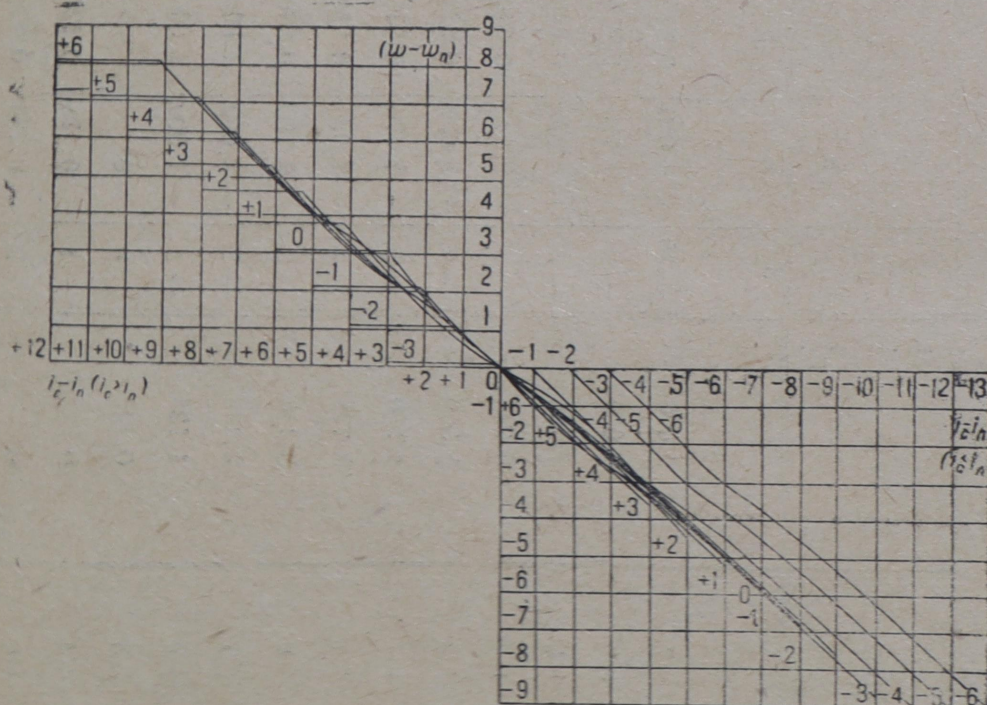
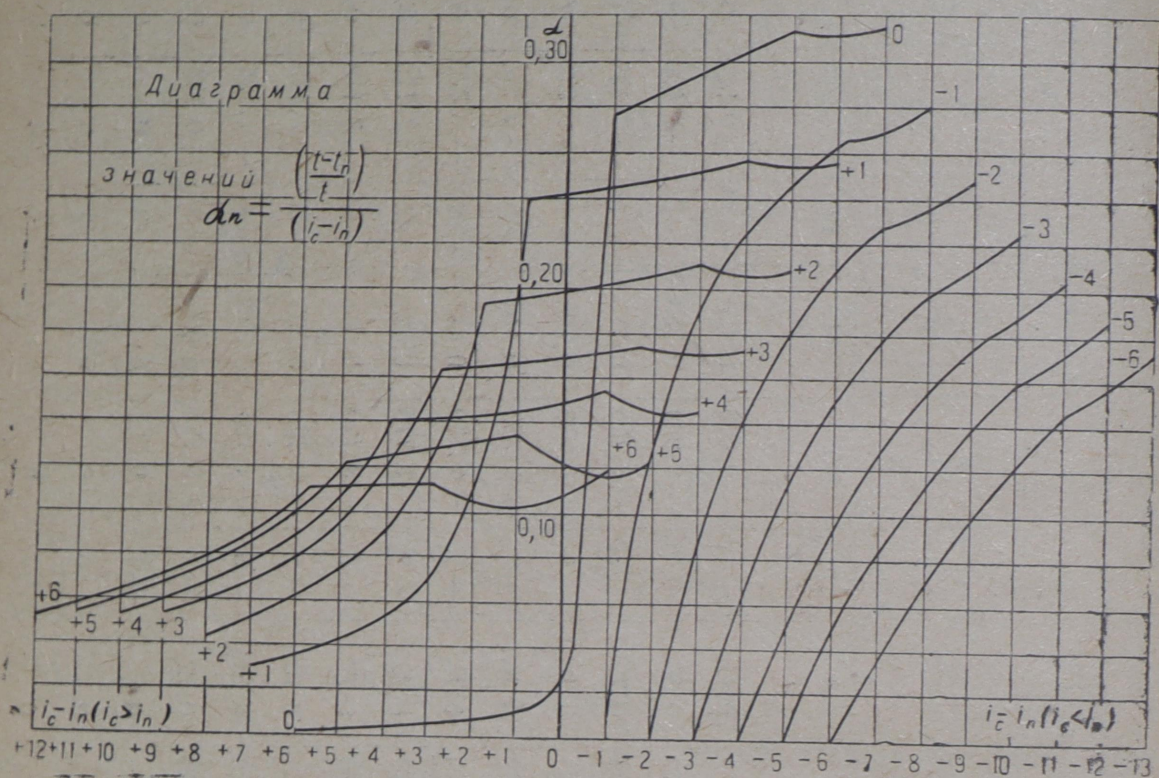
Спрямляемый уклон i и со- противление на спрямляемом элементе w_k	$i = +6$			$i = +5$			$i = +4$			$i = +3$			$i = +2$		
	$w_k = 8,06$			$w_k = 7,125$			$w_k = 6,225$			$w_k = 5,35$			$w_k = 4,52$		
	$u_1 - i$	$u_m - u_n$	u_g	$u_1 - i$	$u_m - u_n$	u_g	$u_1 - i$	$u_m - u_n$	u_g	$u_1 - i$	$u_m - u_n$	u_g	$u_1 - i$	$u_m - u_n$	u_g
$i +$	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
1															
+7	-1	-0,94	0,94	-2	-1,875	0,937	-3	-2,775	0,925	-4	-3,65	0,915	-5	-4,48	0,896
+6	0	0	—	-1	-0,935	0,935	-2	-1,835	0,917	-3	-2,71	0,903	-4	-3,54	0,885
+5	1	0,935	0,935	0	0	—	-1	-0,900	0,900	-2	-1,775	0,887	-3	-2,605	0,868
+4	2	1,835	0,917	1	0,900	0,900	0	0	—	-1	0,875	0,875	-2	-1,705	0,852
+3	3	2,71	0,903	2	1,765	0,882	1	0,875	0,875	0	0	—	-1	-0,830	0,830
+2	4	3,540	0,885	3	2,605	0,868	2	1,705	0,852	1	0,830	0,830	0	0	—
+1	5	4,285	0,857	4	3,350	0,867	3	2,450	0,817	2	1,575	0,787	1	0,745	0,745
0	6	4,950	5,825	5	4,015	0,803	4	3,115	0,778	3	2,240	0,737	2	1,410	0,705
-1	7	5,935	0,847	6	5,000	0,833	5	4,100	0,820	4	3,225	0,804	3	2,395	0,798
-2	8	6,935	0,867	7	6,000	0,857	6	5,100	0,850	5	4,225	0,845	4	3,395	0,850
-3	9	7,935	0,881	8	7,000	0,875	7	6,100	0,857	6	5,225	0,873	5	4,395	0,879
-4	10	8,06	0,806	9	7,125	0,793	8	6,225	0,777	7	5,35	0,765	6	4,520	0,753
-5	11	8,06	0,733	10	7,125	0,712	9	6,225	0,693	8	5,35	0,668	7	4,520	0,645
-6	12	8,06	0,673	11	7,125	0,648	10	6,225	0,622	9	5,35	0,595	8	4,520	0,565

Таблица 30 (продолжение)

Спрямоляемый уклон i и сопротивление на спрямляемом элементе w_k		$i = +1$			$i = 0$			$i = -1$			$i = -2$		
		$w_k = 3,775$			$w_k = 3,110$			$w_k = 2,125$			$w_k = 1,125$		
		$u_l - l$	$u_m - w_m$	u_g	$u_l - l$	$u_m - w_m$	u_g	$u_l - l$	$u_m - w_m$	u_g	$u_l - l$	$u_m - w_m$	u_g
$i \mp$	w_m	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
1	2												
+7	9,000	-6	-5,225	0,871	-7	-5,890	0,841	-8	-6,500	0,811	-9	7,675	0,853
+6	8,060	-5	-4,285	0,857	-6	-4,950	0,825	-7	-5,560	0,794	-8	-6,735	0,840
+5	7,125	-4	-3,350	0,837	-5	-4,015	0,803	-6	-4,025	0,770	-7	-5,800	0,828
+4	6,225	-3	-2,450	0,817	-4	-3,115	0,778	-5	-3,725	0,745	-6	-4,900	0,817
+3	5,350	-2	-1,575	0,787	-3	-2,240	0,737	-4	-2,250	0,713	-5	-4,025	0,805
+2	4,520	-1	-0,745	0,745	-2	-1,41	0,705	-3	-2,02	0,673	-4	-3,195	0,728
+1	3,775	0	0	—	-1	-0,665	0,665	-2	-1,225	0,612	-3	-2,450	0,817
0	3,110	1	0,685	0,665	0	0	—	-1	-0,610	0,610	-2	-1,785	0,892
-1	2,125	2	1,650	0,825	1	0,985	0,985	0	0	—	-1	-1,000	1,000
-2	1,125	3	2,650	0,883	2	1,985	0,992	1	1,000	1,000	0	0	—
-3	0,125	4	3,650	0,912	3	2,985	0,945	2	1,000	1,000	1	1,000	1,000
-4	0	5	3,775	0,755	4	3,110	0,777	3	1,125	0,708	2	1,125	0,562
-5	0	6	3,775	0,628	5	3,110	0,622	4	1,125	0,531	3	1,125	0,375
-6	0	7	3,775	0,536	6	3,110	0,518	5	1,125	0,425	4	1,125	0,281

Таблица 30 (продолжение)

Спря́мляемый уклон i и сопроти́вление на спря́мляемом элементе w_k		$i = -3$			$i = -4$			$i = -5$			$i = -6$				
		$w_k = 0,125$			$w_k = 0$			$w_k = 0$			$w_k = 0$				
		$u_l - i$	$u_m - u_m$	u_d	$u_l - i$	$u_m - u_m$	u_d	$u_l - i$	$u_m - u_m$	u_d	$u_l - i$	$u_m - u_m$	u_d		
$i \pm$	u_m	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
1															
+7	9,000	-10	-8,650	0,865	-11	-9,000	0,819	-12	-9,000	0,750	-13	-9,000	0,690		
+6	8,060	-9	-7,710	0,857	-10	-8,060	0,806	-11	-8,060	0,733	-12	-8,060	0,673		
+5	7,125	-8	-6,775	0,845	-9	-7,125	0,793	-10	-7,125	0,712	-11	-7,125	0,648		
+4	6,225	-7	-5,875	0,840	-8	-6,225	0,777	-9	-6,225	0,693	-10	-6,225	0,622		
+3	5,350	-6	-5,000	0,833	-7	-5,350	0,765	-8	-5,350	0,668	-9	-5,350	0,595		
+2	4,520	-5	-4,170	0,834	-6	-4,520	0,753	-7	-4,520	0,645	-8	-4,520	0,565		
+1	3,775	-4	-3,425	0,856	-5	-3,775	0,755	-6	-3,775	0,628	-7	-3,775	0,538		
0	3,110	-3	-2,760	0,920	-4	-3,110	0,777	-5	-3,110	0,622	-6	-3,110	0,518		
-1	2,125	-2	-2,000	1,000	-3	-2,125	0,708	-4	-2,125	0,503	-5	-2,125	0,425		
-2	1,125	-1	-1,000	1,000	-2	-1,125	0,562	-3	-1,125	0,375	-4	-1,125	0,281		
-3	0,125	0	0	—	-1	-0,125	0,125	-2	-0,125	0,062	-3	-0,125	0,042		
-4	0	1	0,125	0,125	0	0	0	-1	0	0	-2	0	0		
-5	0	2	0,125	0,620	1	0	0	0	0	0	-1	0	0		
-6	0	3	0,125	0,042	2	0	0	1	0	0	0	0	0		

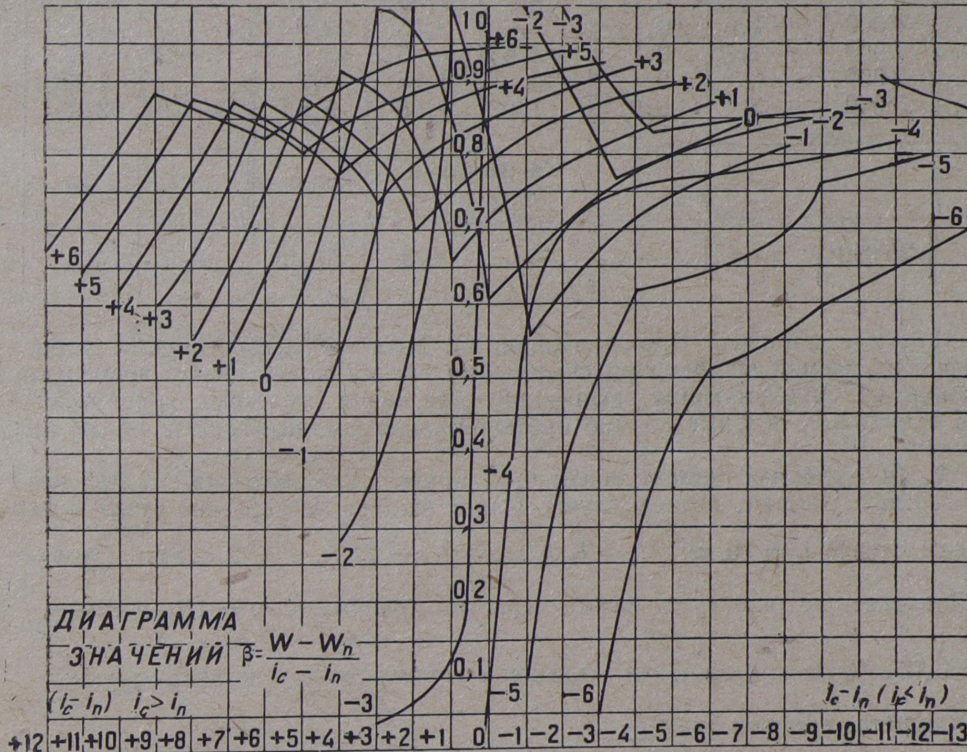


Для этого сперва должны быть построены кривые:

$$\frac{(t - t_n)}{t} = f(i_c - i_n); \quad \alpha_n = \frac{(t - t_n)}{(i_c - i_n)} = f_1(i_c - i_n); \quad (w - w_n) = \varphi(i_c - i_n)$$

$$\beta_n = \frac{(w - w_n)}{(i_c - i_n)} = \varphi_1(i_c - i_n),$$

где i_c — значение уклона спрямленного участка и i_n — значения уклонов спрямляемых элементов.



Черт. 68.

При определении значений $(t - t_n)$ и α берем значения t из диаграммы черт. 60 или из таблицы 27; для определения значения $(w - w_n)$ и φ_n берем значения w из таблицы 26.

Подсчет значений $\frac{(t - t_n)}{t}$, α_n , $(w - w_n)$ и β_n произведен в таблицах 29 и 30.

По полученным в таблицах 29 и 30 величинам $\frac{(t - t_n)}{t}$, α_n , $(w - w_n)$ и β_n построены диаграммы (черт. 65, 66, 67 и 68).

Для определения допускаемой ошибки нужно знать время пробега всего перегона АВ. Определим это время приблизительно, применяя весьма грубое спрямление, вследствие чего получим время несколько меньше действительного, что при определении предела допускаемой ошибки повышает точность дальнейших вычислений. Приблизительный подсчет времени приведен в таблице 31.

Общая длина элементов, намеченных к спрямлению, составляет 17,5 км.

Величина допускаемой ошибки должна быть определена по формулам:

для подсчета времени:

$$p_n = p \frac{L}{l_1 + l_2 + \dots + l_n} \frac{t}{t_n};$$

для подсчета механической работы:

$$r_n = r \frac{L}{l_1 + l_2 + \dots + l_n} \quad (\S 71).$$

Таблица 31

Элементы	Длина в метрах	Спряmlенный уклон $\frac{h_2 - h_1}{l}$	Влияние кривых $\frac{13,1 \sum \alpha^3}{l}$	Т у д а			О б р а т н о		
				спряmlенный уклон	время прохода		спряmlенный уклон	время прохода	
					1 км	всего		1 км	всего
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Ae . . .	5 000	— 3,7	0,1	3,6	1,85	9,25	+ 3,8	4,1	20,5
ef . . .	8 000	+ 1,6	0,1	+ 1,7	2,75	22,0	— 1,5	1,58	12,7
fh . . .	7 000	— 4,15	0,1	— 4,05	1,85	13,0	+ 4,25	4,3	30,1
hi . . .	2 000	0	0	0	1,85	3,7	0	1,58	3,16
iB . . .	3 000	— 2	0,07	— 1,93	1,85	5,5	+ 2,07	2,95	8,85
—	—	—	—	На разгон и остановку		4,0	—	—	4,00
A — B	25 000	—	—	—	2,3	57,45	—	3,2	79,31

Примечания. 1. При спряmlении профиля для эксплуатируемых дорог для определения допускаемой ошибки при спряmlении можно пользоваться временами прохода перегонов из существующих расписаний. Для новых железных дорог можно пользоваться временами, которые обычно предварительно подсчитываются по неспряmlенным профилям.

2. Допускаемая ошибка может быть принята без подсчета в 1% для каждого спряmlяемого участка. В этом случае общая ошибка на перегоне будет менее 1%.

В нашем случае $L = 25$ км, $(l_1 + l_2 + \dots + l_n) = 17,5$, $t = 2,3$ мин. (туда) и 3,2 мин (обратно). Допускаемую ошибку по всему перегону принимаем: $p = 1\%$ и $r = \frac{81p}{(P + Q)} = \frac{81 \cdot 1}{1690} = 0,05$. Следовательно, для отдельных спряmlяемых участков получим:

для подсчета времени туда:

$$p_n = 1 \cdot \frac{25 \cdot 2,3}{17,5 \cdot t_n} = \frac{3,3}{t_n} \%$$

для подсчета времени обратно:

$$p_n = 1 \cdot \frac{25 \cdot 3,2}{17,5} = \frac{4,5}{t_n} \%$$

для подсчета механической работы:

$$r_n = 0,05 \cdot \frac{25}{17,5} = 0,07.$$

Дальнейшая работа по спряmlению профиля должна вестись путем испробования спряmlения различных элементов, руководствуясь кривыми α и β и определяя, если нужно, ошибку. Необходимые подсчеты при этом произведены в таблицах 32 и 33. Будем производить спряmlение участков в последовательном порядке от начала перегона А.

- 1) Элемент Аа — оставляем отдельным.
- 2) Участок ас — спряmlенные уклоны получились: туда: $i = -4,55$, и обратно: $i = +4,75$.

Так как кривых $\frac{t - t_n}{t}$, α , $(w - w_n)$ и β для этих уклонов не имеется, то значения этих величин нужно получать интерполированием. По виду кривой α для $i_c = +4,75$ (между $i_c = +5$ и $i_c = +4$ определенного заключения сделать нельзя, так как эта кривая около средней оси имеет перелом. Ошибка должна быть проверена подсчетом. По форме кривой α для $i_c = -4,55$ (между $i_c = -$ и $i_c = -5$) видно, что ошибка в подсчете равна 0. Кривые β имеют переломы, вследствие чего проверка должна быть произведена подсчетом ошибки. Ошибка в подсчете механической работы получается для участка ас несколько больше исчисленного предела, вследствие чего должна быть учтена при определении механической работы.

Т а б л и ц а 32.

СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ ОПРЕДЕЛЕНИЯ СПРЯМЛЕННЫХ УКЛОНОВ И ПОДСЧЕТА ОШИБОК.

Спрямо- уемый участок	Длина спрямо- уемых участ- ков l_n (в метрах)	Разница отметок $h_2 - h_1$ (в метрах)	$\frac{(h_2 - h_1)}{l_n} = 1000$	Сумма центральных углов кри- вых $\sum \alpha^\circ$ (в градусах)	Влияние кривых $\frac{13,12\alpha^\circ}{l_n}$	Т у д а (AB)				О б р а т н о (BA)						Примечания	
						спрямлен- ный уклон с уче- том влияния кривых i_k	время прохода t_n по спрямленному уклону t_n	допускаемая ошибка в подсчете врем. $p_n = \frac{t_n}{3,3}$	времени p		допускаемая ошибка в под- счете врем. $p_n = \frac{t_n}{4,5}$	действительная ошибка в под- счете					
									механической работы r	механической работы r		механической работы r	действительная ошибка в под- счете				
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	
ac	4000	-18,5	-4,65	30,5	0,1	-4,55	1,85	1,8%	0	-0,137	+4,75	4,65	0,97%	+0,5%	-0,055	При подсч. расхо- да воды и топлива и механич. работы в направлении AB учесть ошибку $r =$ $= -0,137$.	
cf	8000	+13	+1,60	91,5	0,15	+1,75	2,80	1,2%	-3,1%	Не под- считаны	-1,45	1,58	2,80%	0	Не подочи- тано	Спрямо- уемое не- приемлемо.	
cd	1500	0	0	0	0	0	1,85	1,8%	-9,5%	-0,053	0	1,85	2,40%	-9,5%	0,053	Спрямо- уемое мож- но принять с учет. ошибки при подсч. врем. $p = -9,5\%$.	
de fg	5500 5500	+13 -29	+2,35 -5,25	91,5 46,75	0,20 0,10	+2,55 -5,15	3,30 1,85	1,0% 1,8%	<0,1% 0	-0,014 0	-2,15 +5,35	1,58 +5,00	2,80% 0,9%	0 -1,07%	-0,024 -0,019	Спрямо- уемое мож- но принять с учет. ошибки при подсч. врем. в направл. BA $p = -1,07\%$.	
hi ik jk	2000 2000 1000	+12 -6 -6	+6,00 -3,00 -6,00	91,50 13,25 13,25	0,60 0,10 0,20	+6,60 -2,90 -5,80	5,80 1,85 1,85	0,57% 1,8% 1,8%	-0,3% 0 0	-0,09 -1,09 0	-5,40 +3,10 +6,20	1,58 3,60 5,50	2,80% 1,25% 0,82%	0 -5,95% Не под- считано; ошибка не велика	0 Не подочи- тано	Спрямо- уемое не- приемлемо.	

ВЕДОМОСТЬ ПОДСЧЕТА ОШИБОК ПО ОТДЕЛЬНЫМ СПРЯМЛЯЕМЫМ УЧАСТКАМ ПРОФИЛЯ

Т а б л и ц а 33

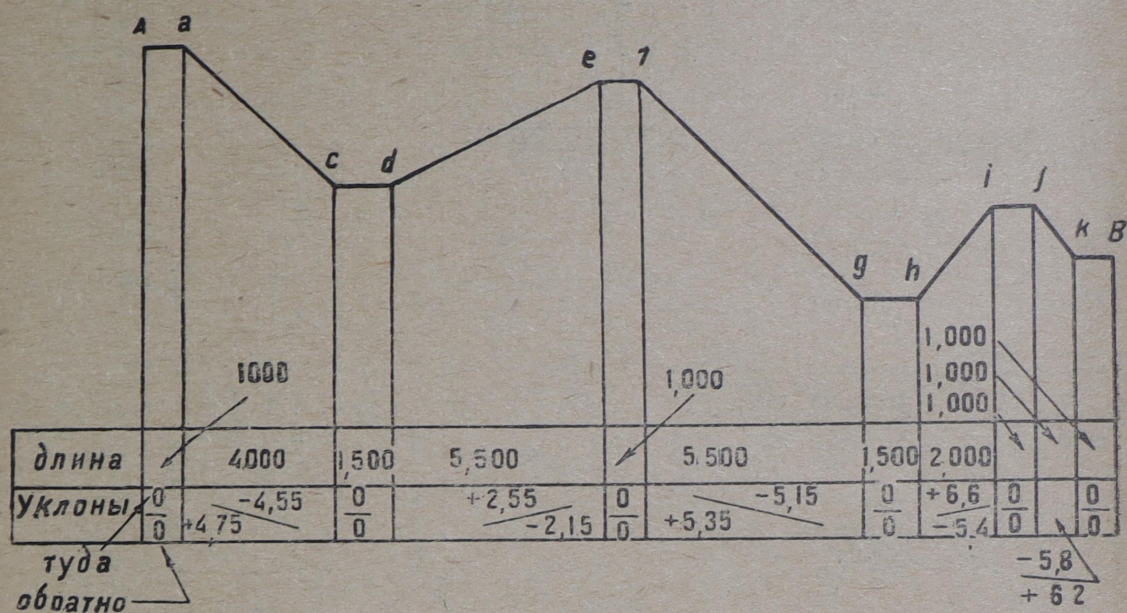
Длина элементов	Т у д а (АВ)					О б р а т н о (ВА)						
	уклоны	$(u_l - l)$	$(u_l - l) f = \frac{l}{(u_l - l)}$	$\frac{l}{(u_l - l)} u_l$	$(u_l - l) \phi = (u_m - u_l)$	уклоны	$(u_l - l)$	$(u_l - l) f = \frac{l}{(u_l - l)}$	$\frac{l}{(u_l - l)} u_l$	$(u_l - l) \phi = (u_m - u_l)$	$(u_m - u_l) u_l$	
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
	$u_l \pm$				$у$	$ас$	$ок$					
									$i = 4,75$			
500	-2	-2,55	-	0	-1,1	-0,55	+2	2,75	0,375	0,1875	+2,6	1,3
500	-3	-1,55	-	0	-	-	+3	1,75	0,225	0,1125	+1,5	0,75
1 000	-5	+0,45	-	0	-	-	+5	-0,25	-0,03	-0,0300	-0,3	-0,3
1 500	-5,7	+1,15	-	0	-	-	+6,3	-1,55	-0,20	-0,300	-1,55	-2,32
500	-4	-0,55	-	0	-	-	+4	0,75	+0,10	+0,0500	+0,7	+0,35
4 000	-	-	-	0	-	-0,55	-	-	-	+0,02	-	-0,22
					$r =$	-1,357			$p =$	0,5%	$r =$	-0,055
					$у$	$ас$	$ок$					
									$i = -1,45$			
400	0	1,75	0,33	0,132	1,4	-	0	-1,45	0	0	-0,9	-
200	+2,5	-0,75	-0,19	-0,038	-0,70	-	-2,5	1,05	0	0	+1,0	-
300	0	1,75	0,33	0,099	1,4	-	0	-1,45	0	0	-0,9	-
200	-2,5	4,25	0,33	0,066	3,8	-	+2,5	-3,95	-0,74	-0,148	-2,9	-
400	0	1,75	0,33	0,132	1,4	-	0	-1,45	0	0	-0,9	-
2 000	+2,3	-0,55	-0,13	-0,26	-0,55	-	-1,7	0,25	0	0	+0,25	-
1 000	+3	-1,25	-0,26	-0,26	-0,11	-	-3	+0,55	0	0	+1,5	-
500	+2	-0,25	-0,06	-0,03	-0,25	-	-2	+0,55	0	0	+0,50	-
2 000	+2,8	-1,05	-0,23	-0,46	-0,95	-	-2,2	0,75	0	0	+0,70	-
1 000	0	1,75	0,33	0,33	1,4	-	0	-1,45	0	0	-0,90	-
8 000	-	-	-	-0,253	-	-	-	-	-	-	-	-
			$p =$	-3,1%								

	$i = 0$				У ч а с т о к				d, i ± 0			
400	0	0	0	0	0	0	0	0	ж	е		
200	+2,5	-0,73	-0,146	+2,4	0	0,48						
300	0	0	0	0	0	0						
200	-2,5	0,015	+0,003	-2,00	0	-0,40						
400	0	0	0	0	0	0						
1500	—	—	-0,143	—	—	-0,08			ж	е		
			-9,5%	r =	-0,053							
			i = +2,55									
200	+2,3	+0,25	Подсчета не	0,25	0,50	-1,7			Подсчета не требуется			
1000	+3	-0,45	требуется	-0,40	-0,40	-3						
500	+2	+0,55		0,50	+0,25	-2						
2000	+2,8	-0,25		-0,23	-0,43	-2,2						
5500	—	—	—	—	-0,08	—			—	—	-0,13	
				r =	-0,014						r =	-0,024
				i = -5,15								
500	-4	-1,15	П о д с ч е т а т р е б у е т с я				fg	0,17	0,085	Подсчета не требуется		
300	-6	+0,85						-0,09	-0,027			
300	-5	-0,15						-0,23	-0,069			
400	-6	+0,85						-0,09	-0,36			
1000	-5	-0,15						0,05	+0,05			
1000	-6	+0,85						-0,09	-0,09			
300	-5	-0,15						-0,23	-0,069			
700	-6	+0,85						-0,09	-0,063			
1000	-4	-1,15						0,175	0,175			
5500	—	—	—	—	0	—		—	-0,059	—	—	—
					i = +6,6			p =	-1,07%			
400	+6	+0,6	0,06	0,6	0,24	-6	hi	+0,6	Подсчета не требуется			
1200	+7	-0,4	-0,045	0,55	-0,66	-5		-0,4				
400	+6	+0,6	0,06	0,6	0,24	-6		+0,6				
2000	—	—	—	—	-0,18	—		—	—	0	—	0
				r =	-0,09							
				i = -2,9								
1000	0	-2,9	Подсчета не	+0,2	+0,2	0	ik	+3,1	Подсчета не требуется			
400	-6	+3,1	требуется	-2,5	-1,0	+6		-2,9				
200	-5	+2,1		-1,45	-0,29	+7		-3,9				
400	-6	+3,1		-2,5	-1,0	+6		-2,9				
2000	—	—	—	—	-2,09	—		—	—	-0,119	—	—
				r =	-1,09					p =	-5,95%	

3) *Участок cf.* При подсчете ошибки для этого участка в направлении *AB* величина ошибки получилась $p = -3,1\%$, вследствие чего это спрямление следует считать неприемлемым.

4) *Участок cd.* Ошибка в подсчете времени по этому участку составляет $p = -9,5\%$, в подсчете механической работы $r = -0,053$. Несмотря на большую величину ошибки, это спрямление можно принять в виду небольшого протяжения участка ($l = 1500$ м) и незначительной абсолютной величины ошибки (около $0,095 \cdot 1,85 \cdot 1,5 = 0,26$ минуты); но при этом при подсчете времени нужно ввести соответствующую поправку.

5) *Участок de.* По форме кривых α и β видно, что на этом участке при величине спрямленных уклонов $i_c = +2,55$ (туда) и $i_c = -2,15$ (обратно) ошибка в подсчете должна быть в направлении *AB* невелика, а в направлении *BA* равна 0. Вместо подсчета ошибки определим верхний предел ее по формуле: $(\alpha_1 - \alpha_r) \frac{(i_c - i_1)(i_c - i_r)}{(i_1 - i_r)}$, где i_1 и i_r — уклоны,



Черт. 69.

наиболее отличающиеся от спрямленного. Для участка *de* в направлении *AB* имеем: $i_c = +2,55$, $i_1 = +3$, $i_r = +2$, $\alpha_1 = 0,186$ и $\alpha_r = 0,182$, следовательно, верхний предел ошибки равен: $(0,186 - 0,182) \cdot \frac{(-0,45) \cdot 0,53}{1} = 0,1\%$, т. е. меньше допустимого предела ошибки.

6) *Участок fg.* По форме кривых α и β видно, что ошибка в направлении *AB*, для которого величина спрямленного уклона $i_c = -5,15$, равна 0. В обратном направлении ошибку в подсчете времени определяем подсчетом; ошибка составляет $1,07\%$ — несколько больше допустимого, следовательно, должна быть учтена при подсчете времени.

По форме кривой β для обратного направления видно, что ошибка в подсчете механической работы незначительна. Проверка верхнего предела ошибки по ф-ле $(\beta_1 - \beta_r) \frac{(i_c - i_1)(i_c - i_r)}{(i_1 - i_r)}$,

где для данного случая $i_c = 5,35$; $i_1 = +7$ и $i_r = +4$, $\beta_1 - \beta_r = 0,025$, дает:

$$0,025 \cdot \frac{1,35 \cdot (-1,65)}{3,0} = -0,0186,$$

т. е. меньше допустимого предела ошибки.

7) *Участок hi.* Спрямление производим только по кривой. В направлении *AB* ошибка проверена подсчетом, в направлении обратном по форме кривых α и β видно, что ошибка равна 0.

8) *Участок ik.* В обратном направлении (*BA*) получается ошибка в подсчете времени $5,95\%$, т. е. слишком большая, вследствие чего спрямление следует считать неприемлемым.

9) *Участок jk.* По форме кривых α и β видно, что ошибка должна быть незначительна, вследствие чего принимаем спрямление без поверочного подсчета.

На основании произведенных поверочных подсчетов можно принять соответствующее спрямление профиля (черт. 6).

IV. Определение времени прохода перегона АВ и расхода воды и топлива

95. Закончив все предварительные подсчеты, можно перейти к окончательному решению задачи, — определению времени пробега и расхода воды и топлива. Эти подсчеты произведем различными способами.

1. Определение времени пробега по способу Липеца и Лебедева (§§ 35, 36, 37, 50). Определение расхода воды и топлива по интенсивности паробразования z (§§ 57, 58, 62)

96. Для построения диаграмм по способу Липеца и Лебедева задаемся масштабами ¹⁾:

ускоряющих усилий $(f_k - w_k - b_k) 1$ [кг/м] в $k = 10$ мм;

скоростей $v 1$ [км/ч] в $m = 1,5$ мм;

пути $s 1$ [км] в $n = \frac{\zeta m^2}{k} = \frac{120 \cdot 1,5^2}{10} = 27$ мм;

отрезка $\Delta = 15$ мм;

времени $t 1$ [мин.] в $\chi = \frac{\zeta \Delta m}{60k} = \frac{120 \cdot 15 \cdot 1,5}{60 \cdot 10} = 4,5$ мм.

Задавшись масштабами, строим кривые $(f_k - w_k)$, w_k (при закрытии регулятора) и $(w_k + p_k)$ (при торможении только паровоза и тендера) отдельно для направлений АВ („туда“) и ВА („обратно“) (черт. 70) и откладываем элементы профиля, выписывая внизу протяжения и величины уклонов для обоих направлений и величины поправок при определении времени пробега (p^0_0) и механической работы (r) по спрямленному профилю, если эти ошибки больше допускаемого предела (черт. 70).

При длинном профиле кривые $(f_k - w_k)$, w_k и $(w_k + b_k)$ чертятся на отдельной диаграмме (удобнее всего на миллиметровой клетчатке). Эта диаграмма может быть приложена к любому месту профиля, что облегчает дальнейшую работу.

Кривые $(f_k - w_k)$, w_k и $(w_k - b_k)$ строятся для случая $i = 0$, т. е. для горизонтального прямого пути. Значения $(f_k - w_k)$, w_k и $(w_k - b_k)$ для различных уклонов i_n будут отличаться на величину: $i_n - i_0 = i_n$ [кг/м] независимо от скорости движения. Ординаты, которыми измеряются значения $(f_k - w_k)$, w_k и $(w_k - b_k)$ на различных уклонах i_n , при всех скоростях движения будут отличаться от ординат $(f_k - w_k)$, w_k и $(w_k - b_k)$ на горизонтальном прямом пути на величину i_n , отложенную в масштабе ускоряющих и замедляющих усилий. Следовательно, значения $(f_k - w_k)$, w_k и $(w_k + b_k)$ для какого-либо уклона i_n будут определяться ординатами, измеряемыми от оси, проведенной через точку оси $O(f_k - w_k)$, соответствующую уклону i_n .

Диаграмма $(f_k - w_k) = f(v)$ вычерчивается таким образом, что ось Ov расположена вертикально, а ось $O(f_k - w_k)$ горизонтально.

Для построения кривой $v = \psi(s)$ диаграмма делится горизонтальными линиями на полосы. Чем уже полосы, тем точнее построение.

Построение кривой для направления АВ („туда“) начинается от точки А. Из центра O диаграммы $(f_k - w_k) = f(v)$ проводим луч к середине первого отрезка кривой $(f_k - w_k) = f(v)$, а на диаграмме профиля из точки А проводим перпендикулярный ему отрезок AT , в пределах первой горизонтальной полосы.

Примечание. Это построение удобно производить при помощи линейки, уложенной по направлению луча, и треугольника, один из катетов которого совпадает с направлением линейки, а по другому проводится перпендикулярный отрезок. При этом нет надобности прочерчивать ¹⁾ лучи (на черт. 70 лучи проведены для наглядности).

¹⁾ Для удобства печатания масштабы на напечатанном черт. 70 уменьшены вдвое.

Затем проводим луч к середине второго отрезка кривой $(f_k - w_k) = f(v)$ и перпендикулярный ему отрезок 1-2.

Для следующего отрезка делим горизонтальную полосу III пополам для большей точности, так как отрезок 2-3 доходит до конца элемента Aa профиля в пределах первой половины полосы III.

Доведя построение до конца первого элемента профиля и переходя к элементу ac с уклоном $i = -4,55$, мы должны увеличить ординаты [параллельные оси $O(f_k - w_k)$] диаграммы $(f_k - w_k) = f(v)$ на величину 4,55, т. е. перенести начало координат диаграммы $(f_k - w_k) = f(v)$ в точку O_1 , соответствующую $i = -4,55$, и перенести туда же ось Ov . Для дальнейшего построения кривой $v = \psi(s)$ проводим луч из точки O_1 к середине второй половины третьего отрезка кривой $(f_k - w_k)$ и перпендикулярный ему отрезок 3-4.

Следующий отрезок выходит за пределы допускаемой предельной скорости движения $v = 32,5$ км/ч, поэтому проводим его лишь до точки 5 — пересечения его с горизонтальной линией (параллельной оси Os), проведенной от оси Os в расстоянии, соответствующем скорости $v = 32,5$ км/ч. После достижения предельной скорости проводим следующий отрезок 5-6 по горизонтальной линии, соответствующей скорости $v = 32,5$ км/ч, в пределах одного или нескольких элементов профиля, для которых значения установившейся скорости движения не ниже предельной допускаемой скорости. В нашем случае для следующего элемента профиля ef уклон $i = 0$, для которого установившаяся скорость движения также равна $v = 32,5$ км/ч.

Для построения кривой $v = \psi(s)$ в пределах элемента de , уклон которого $i = +2,55$, переносим начало координат в точку O_2 , соответствующую $i = +2,55$. В этом случае часть кривой $(f_k - w_k) = f(v)$, к точкам которой проводятся лучи из точки O_2 , находится вправо от оси O_2v , вследствие чего отрезки $v = \psi(s)$ будут понижаться до достижения установившейся скорости движения на подъеме $i = +2,55$, которая получается в пределах второй горизонтальной полосы. Эта скорость измеряется отрезком O_2m оси O_2v между осью $O(f_k - w_k)$ и кривой $(f_k - w_k)$.

Подобным образом продолжаем построение кривой $v = \psi(s)$ до конца перегона AB .

В самом конце перегона скорость должна уменьшаться при помощи торможения с таким расчетом, чтобы поезд был остановлен в точке B . Для того, чтобы конец кривой $v = \psi(s)$ попал в точку B , ведем в самом конце построение в обратном порядке, проводя лучи из точки O (соответствующей $i = 0$ элемента kB) к средним точкам отрезков кривой замедляющих усилий при торможении $(w_k + b_k)$ и перпендикулярные к ним отрезки $B-31$, $31-30$, $30-29$ и $29-28$, до точки 28 — пересечения отрезка $29-28$ с отрезком $27-28$.

Подобным же образом строим кривую $v = \psi(s)$ для обратного направления по диаграмме $(f_k - w_k) = f(v)$ для этого направления. Предельная допускаемая скорость движения для обратного направления $v = 38$ км/ч.

Для построения кривой $t = \chi(s)$ откладываем отрезок $\Delta = 15$ мм¹) (черт. 70) через средние точки отрезков $A-1$, $1-2$, $2-3$ и т. д. кривой $v = \psi(s)$, проводим горизонтальные линии до пересечения их с осью $O't$.

Через крайние точки тех же отрезков проводим вертикальные линии, делящие диаграмму $v = \psi(s)$ на вертикальные полосы. К точкам пересечения горизонтальных линий с осью $O't$ проводим лучи из точки n (конца отрезка $O'n = \Delta$), а на диаграмме профиля и кривой $v = \psi(s)$ проводим линии, перпендикулярные лучам в пределах вертикальных полос, соответствующих отрезкам $A-1$, $1-2$ и т. д. Полученная линия $A'1'2'3'...$ представляет собою кривую $t = \chi(s)$.

¹) На напечатанном чертеже масштабы уменьшены в два раза.

Подобным же образом строим кривую $t = \chi(s)$ для обратного направления.

Примечание. Вспомогательную диаграмму с отрезком Δ удобнее вычерчивать на отдельном планшете и передвигать ее по мере надобности к любому месту профиля. Вычерчивать лучи из точки n и горизонтальные линии из средин отрезков кривой $v = \psi(s)$ нет надобности (на чертеже 70 лучи и горизонтальные линии проведены для наглядности).

Время пробега, измеренное ординатой конца кривой $t = \chi(s)$ в масштабе 1 мин. в 4,5 мм, составляет для направления AB 63,75 минуты, а для направления BA 76 минут.

Примечание. Для компактности чертежа 70 кривая $t = \chi(s)$ построена отрезками. Ордината конца каждого отрезка, кроме последнего, соответствует 20 минутам. Для получения всего времени прохода нужно сложить времена, соответствующие каждому отрезку.

К полученной величине времени нужно внести поправку вследствие ошибки при спрямлении профиля в направлении AB для элемента cd в размере: $0,095 \cdot \frac{12}{4,5} = 0,25$ мин. и в направлении BA для элемента cd в размере

$0,095 \cdot \frac{12}{4,5} = 0,25$ мин. и для элемента fg в размере: $0,0107 \cdot \frac{110}{4,5} = 0,25$ мин.

или всего 0,5 мин. Итого, время прохода перегона AB получается: для направления AB — 64 минуты и для направления BA — 76,5 минуты.

97. Расход пара составляет $\sum zHt = H\sum zt$.

Для элементов профиля, на которых паровоз работает при полном парообразовании, интенсивность парообразования $z = 32$ кг; для элементов профиля, на которых поезд идет с закрытым регулятором, $z = 1$ кг, на прочих элементах z должно быть взято из диаграммы черт. 62. Подсчет расхода пара машиной приведем в таблице 34.

При подсчете расхода пара нужно внести поправки по спрямлению профиля. В обратном направлении BA для всех элементов ошибка по механической работе менее допустимой, вследствие чего поправки вводить не требуется. Для направления AB требуется ввести поправку для элементов ac и hi . Полная ошибка в подсчете механической работы для элемента ac составляет 928 (1000 кг/м) при средней скорости для этого элемента ($i = -4,55$) $v = 32,5$ км/ч (из таблицы 28).

Из диаграммы расхода пара на одну лошадиную силу в час (черт. 74) видим, что при этих скоростях расход пара в час составляет 10 кг на одну лошадиную силу, или на $75 \cdot 60 \cdot 60$ кгм работы. Следовательно, поправка по расходу пара на 928 (1000 кг/м) составит:

$$\frac{10 \cdot 928 \cdot 1000}{75 \cdot 60 \cdot 60} = 34,4 \text{ кг.}$$

Полная ошибка в подсчете механической работы по элементу hi составляет 302 (1000 кгм) при средней скорости для этого элемента ($i = +6,6$) $v = 10,5$ км.

Из диаграммы расхода пара на одну лошадиную силу в час (черт. 74) видим, что при этих скоростях расход пара на одну лошадиную силу в час составит 11 кг. Следовательно, поправка на 302 (1000 кгм) составит:

$$\frac{10 \cdot 302 \cdot 1000}{75 \cdot 60 \cdot 60} = 12,4 \text{ кг.}$$

Общая сумма поправки по спрямлению составляет:

$$34,4 + 12,4 = 46,8 \approx 47 \text{ кг.}$$

Т а б л и ц а 34

Т у д а				О б р а т н о			
Элементы	z кг	$\frac{t}{60}$ (час)	$\frac{zt}{60}$ (кг)	Элементы	z кг	$\frac{t}{60}$ (час)	$\frac{zt}{66}$ (кг)
1	2	3	4	1	2	3	4
ac, fg, jk	1	0,33	0,33	ih	1	0,055	0,06
Остальные	33	0,73	24,10	ed	20,5	0,160	3,28
В с е г о . . .	—	1,06	24,43	Остальные	33	1,06	35,0
Полный расход пара: $\Sigma \frac{ztH}{60}$	—	—	4,750	В с е г о . . .	—	1,275	38,34
Поправка по спрямлению .	—	—	0,047	Полный расход пара: $\Sigma \frac{ztH}{60}$	—	—	7,450
И т о г о . . .	—	—	4,797	Средняя интенсивность парообразования: $\Sigma \frac{zt}{60} H$ $z_{cp} = \frac{H \Sigma \frac{t}{60}}{H \Sigma \frac{t}{60}}$. . .	—	—	—
Средняя интенсивность парообразования: $\Sigma \frac{zt}{60} H$ $z_{cp} = \frac{H \Sigma \frac{t}{60}}{H \Sigma \frac{t}{60}}$. . .	—	23,2	—	Средняя интенсивность парообразования: $\Sigma \frac{zt}{60} H$ $z_{cp} = \frac{H \Sigma \frac{t}{60}}{H \Sigma \frac{t}{60}}$. . .	—	30,0 кг	—

Для определения расхода воды из тендера должен быть добавлен до-
бавочный расход в размере 20%. Весь расход воды из тендера получается:
в направлении АВ: $1,2 \cdot 4\,797 = 5\,740$ кг и в направлении БА: $1,2 \cdot 7\,450 =$
 $= 8\,950$ кг.

Расход топлива определяется по средней величине интенсивности паро-
образования z и по диаграмме зависимости $z = f(y)$ между интенсивностью
парообразования и интенсивностью горения y (черт. 71). Полный расход
топлива: $Y = yRt$, где $R = 4,2$ м³. В направлении АВ средняя интенсивность
парообразования $z_{cp} = 23,2$ и время прохода перегона — 1,06 часа, соответ-
ствующие интенсивность горения: $y = 140$ кг и полный расход топлива:
 $Y = 140 \cdot 4,2 \cdot 1,06 = 662$ кг.

В направлении БА $z_{cp} = 30$ кг, время прохода перегона 1,275 часа
 $y = 190$ и полный расход топлива: $Y = 190 \cdot 4,2 \cdot 1,275 = 1\,020$ кг.

2. Определение времени пробега по комбинациям открытия регулятора ϱ
и отсечек ε и расхода воды по расходу пара за один ход поршня
(§§ 11, 50, 59)

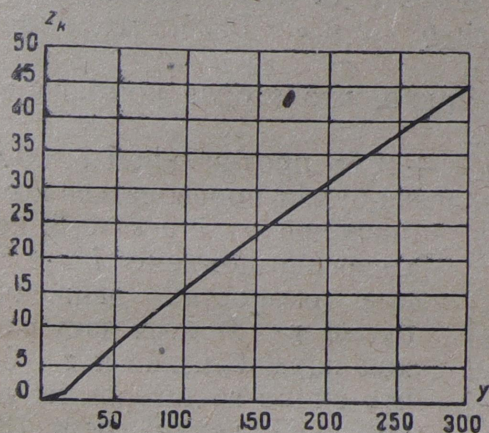
98. Этот расчет произведен только для одного направления АВ.

Построение кривой $v = \psi(s)$ производится таким же способом, как
было описано в § 96, с той разницей, что лучи проводятся к кривым
ускоряющих усилий, построенным по кривым силы тяги $F_{\kappa} = f(\varrho, \varepsilon, v)$.

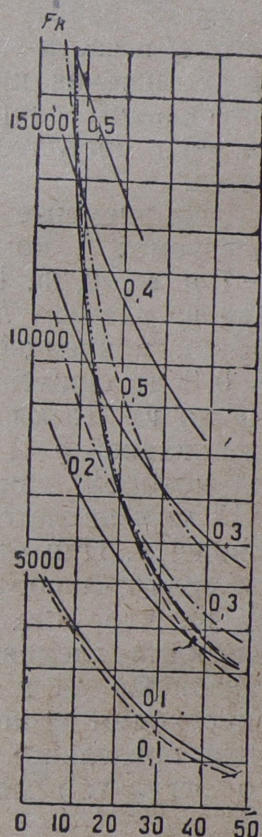
Для выбора комбинаций ϱ и ε наносим на диаграмме (черт. 73) кри-
вые ускоряющих усилий, построенные по силе тяги $F_{\kappa} = f(\varrho, \varepsilon, v)$ (черт. 72)
для различных значений открытия регулятора ϱ и отсечек ε . На той же
диаграмме для наглядности наносим кривые ускоряющих усилий, построен-
ные по кривым силы тяги $F_{\kappa} = \varphi_{\kappa}(z, v)$ для $z = 32$, $z = 40$ и $z = 50$.

Из рассмотрения профиля видно, что вслед за площадкой **Аа** начинается уклон $i = -4,55$ протяжением 4 000 м. Следовательно, для разгона поезда можно свободно использовать заем у котла, который будет пополнен на уклоне.

Для разгона поезда до достижения скорости $v = 20 \text{ км/ч}$ воспользуемся комбинацией $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,5$, которая при малых скоростях является



Черт. 71.

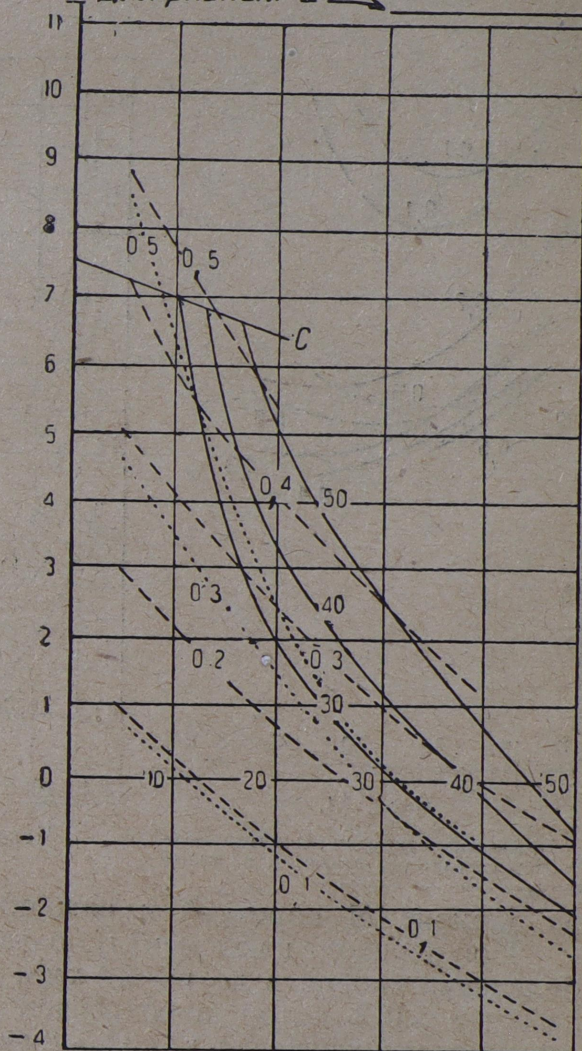


Черт. 72.

при вполне открытом регуляторе.

при регуляторе открытом на малый клапан

для разных Z



Черт. 73. Диаграмма ускоряющих усилий, рассчитанных по силе тяги на обод для различных скоростей и отсечек.

наиболее выгодной по расходу пара, что видно из диаграмм $\left(\frac{U}{N_k}\right) = f(v)$ (черт. 74) и $u = f(v)$ (черт. 75).

При этом нужно иметь в виду, что до достижения скорости $v = 14 \text{ км/ч}$ во избежание боксования нельзя полностью использовать силы тяги, соответствующей $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,5$. До этой скорости нужно вести расчет по ограничению силы тяги по сцеплению, для чего открытие регулятора

и перемена отсечка должны производиться постепенно. По достижении скорости $v = 20 \text{ км/ч}$ переходим на комбинацию $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,4$, которая является выгодной в отношении расхода пара. Этой комбинацией пользуемся до достижения предельной допускаемой скорости $v = 32,5 \text{ км/ч}$ на уклоне $i = -4,55$ элемента ac , после чего регулятор может быть закрыт до конца этого элемента.

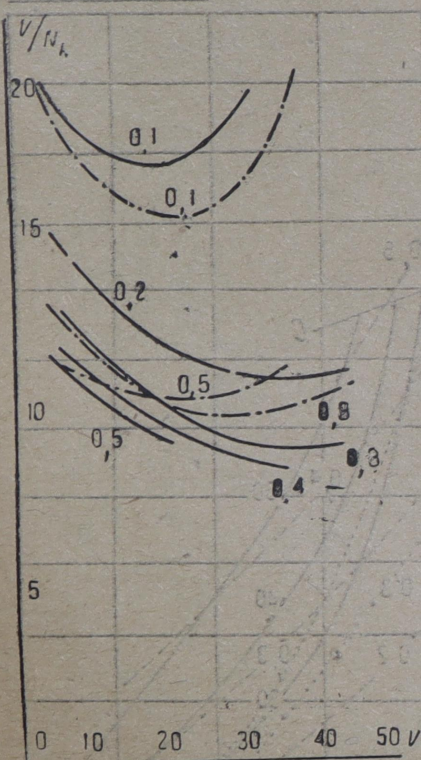
Для поддержания этой скорости на элементе cd ($i = 0$) можно пользоваться комбинациями $\rho = 0,1$ и $\varepsilon = 0,5$ или $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,25$, что видно из диаграммы ускоряющих усилий (черт. 73).

Из диаграммы расхода пара (черт. 74) видно, что вторая комбинация выгоднее, почему и будем ею пользоваться.

Следующий элемент de , с подъемом $i = +2,55$ протяжением 5500 м. В виду значительного протяжения этого перегона будем пользоваться ком-

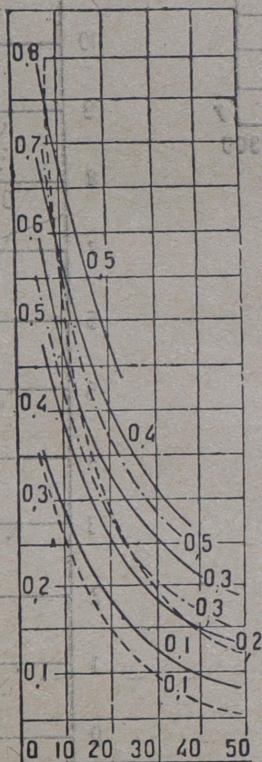
бинацией $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,3$, которая на подъеме $i = 2,55$ при скоростях движения около $v = 20 \text{ км/ч}$ дает расход пара, близкий к $z = 32$, что видно из диаграммы ускоряющих усилий (черт. 73). С этой же комбинацией продолжаем работу на элементе ef и части элемента fg до достижения предельной допускаемой скорости, после чего регулятор закрывается.

На элементе gh ($i = 0$) пользуемся комбинацией $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,25$. При переходе на элемент hi пользуемся комбинацией $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,3$ до снижения скорости до $v = 15 \text{ км/ч}$ и далее комбинацией $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,5$, для которой скорость $v = 15 \text{ км/ч}$ является установившейся. При этой скорости сила тяги соответствует $z = 40$, что допустимо, так



Черт. 74.

1. При вполне открытом регуляторе —
2. При регуляторе, открытом на малый клапан —



Черт. 75.

как элемент hi короткий и находится между легкими элементами.

При переходе на элемент ij пользуемся комбинацией $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,4$ до увеличения скорости до $v = 20 \text{ км/ч}$, после чего переходим на комбинацию $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,3$, которую сохраняем до достижения предельной допускаемой скорости движения $v = 32,5 \text{ км/ч}$, после чего регулятор может быть закрыт на элементе jk ($i = -5,8$).

На элемент kB для поддержания этой скорости до начала остановки можно пользоваться комбинацией $\rho = 1$ и $\varepsilon = 0,25$.

Кривая $v = \psi(s)$ построена на черт. 70 пунктирной линией. На той же диаграмме построена пунктиром кривая $t = \chi(s)$.

Время прохода перегона AB получилось в этом случае равным 60,2 минуты, а со включением поправки на элементе cd всего 60,42 мин.

99. Параллельно с построением кривых $v = \varphi(s)$ и $t = \chi(s)$ должен быть произведен подсчет расхода пара для выявления возможности использования займов у котла.

Расход пара машиной определяется по формуле: $\frac{10^6 \cdot x}{\pi D} \int_{s_1}^{s_2} u \cdot ds$, где $\frac{10^6 \cdot x}{\pi D}$ составляет число ходов поршня (наполнений цилиндров паром) на 1 км пути и расход пара за один ход поршня, который берется из диаграммы черт. 75.

Для нашего случая: $\frac{10^6 \cdot x}{\pi D} = \frac{10^6 \cdot 4}{3,142 \cdot 1,32} = 970$; $\int_{s_1}^{s_2} u \cdot ds$ представляет собою площадь фигуры с основанием $s_2 - s_1$ (пройденный путь) и переменной высотой u .

Если принять для значений u масштаб 1 кг в 20 мм и масштаб длины 1 км в 27 мм, то при измерении площади квадратными миллиметрами³ расход пара составит: $\frac{970}{20 \cdot 27} \Omega$, где Ω — площадь упомянутой фигуры, или $1,8\Omega$ ¹⁾.

Подсчет расхода пара для элементов, на которых паровоз работает с открытым регулятором, произведен в таблице 35.

К полученной величине нужно внести поправку по спрямлению для элементов ac и hi , которая была нами определена в § 94 в 47 кг.

Расход пара в начале перегона при разгоне определяем по формуле $\frac{z \cdot H \cdot t}{60}$. Принимая среднее значение $z = 20$, получаем:

$$\frac{20 \cdot 194,4 \cdot 1}{60} = 65 \text{ кг.}$$

Для получения полного расхода пара из котла нужно добавить расход $z_0 H t_0$, где z_0 — расход пара с 1 м² поверхности нагрева в час помимо машины, t_0 — время хода с закрытым регулятором (в часах). В нашем случае имеем:

$$1 \cdot 194,4 = \frac{21,5}{60} = 70 \text{ кг.}$$

Итого, полный расход пара из котла составляет:

$$4454 + 65 + 70 = 4636 \text{ кг.}$$

Расход воды из тендера составляет:

$$1,2 \cdot 4636 = 5550 \text{ кг} = 5,55 \text{ (м}^3\text{)}.$$

При расчете по комбинациям получилось сокращение времени прохода перегона АБ на 3,6 минуты (5,6%) и уменьшение расхода пара на 11 кг (0,2%).

3. Определение времени пробега по способу Дегтерева (§ 38)

100. Для определения времени пробега по способу Дегтерева должны быть определены значения ускорения поезда по ф-ле: $c = \zeta (f_k - w_k - 1000 \varphi_k \vartheta)$. Для получения значений ускорения в метрах в минуту в квадрате нужно взять:

$$\zeta = 120 \cdot \frac{1000}{60 \cdot 60} = 33, (3),$$

следовательно: $c = 33, (3) (f_k - w_k - 1000 \varphi_k \vartheta)$. Скорости также должны быть выражены в метрах в минуту, для чего значение скоростей в километрах в час нужно помножить на $\frac{1000}{60} = 16, (6)$, т. е.:

$$v \text{ мм} = 16, (6) \text{ км/ч.}$$

¹⁾ На напечатанном черт. 70 линейные масштабы уменьшены в два раза, следовательно, площадь уменьшена в четыре раза.

Т а б л и ц а 35

Эле- менты	Комби- нации ρ и ϵ	Скорости v	Значение u	Длина фигур в мм	Площадь фигур $\Omega = 20 \frac{u_1 + u_2}{2} \cdot l$ в мм ²	Расход пара $1,8 \Omega$ в кг
1	2	3	4	5	6	7
Aa	1—0,5	14 20	0,61 0,50	3,5	$11,10 \cdot 3,5 + 7,2 \cdot 20 +$ $+ 3,05 \cdot 2,5 = 38,85 + 144 +$ $+ 7,62 = 190,475$	342
	1—0,4	20 32,5	0,415 0,305	20		
	ac	1—0,4	32,5	0,305	2,5	
cd	1—0,25	32,5	0,215	40,5	$4,3 \cdot 40,5 = 174,15$	314
de	1—0,3	32,5	0,24	8	$4,95 \cdot 8 + 5,95 \cdot 36 + 7,0 \cdot 20 +$ $+ 7,3 \cdot 84,5 = 39,65 + 214,2 +$ $+ 140,0 + 616,5 = 1010,35$	1805
		30	0,255	36		
		30	0,255	20		
		20	0,34	84,5		
		17,5	0,365			
ef	1—0,3	17,5	0,365	7	$7,05 \cdot 7 + 6,3 \cdot 20 = 175,35$	315
		20	0,34	20		
		25	0,29			
fg	1—0,3	25	0,29	4,5	$5,3 \cdot 4,5 = 23,9$	41
		32,5	0,24			
gh	1—0,25	32,5	0,215	40,5	$4,3 + 40,5 = 174,15$	314
hi	1—0,3	32,5	0,24	16	$5,8 \cdot 16 + 9,3 \cdot 28 + 11,8 \cdot 10 =$ $= 93,8 + 260,4 + 118 = 472,2$	850
		20,0	0,34	28		
	1—0,5	15,0	0,59	10	$9,1 \cdot 3,5 + 6,2 \cdot 23,5 = 31,85 +$ $+ 145,7 = 178,55$	321
		15,0	0,59			
ij	1—0,4	15,0	0,495	3,5		
		20,0	0,415			
	1—0,3	20,0	0,34	23,5		
jk	1—0,3	26,5	0,28		$5,2 \cdot 6 = 31,2$	51
		32,5	0,24	6		
kБ	1—0,25	32,5	0,215	13	$4,3 \cdot 13 = 55,9$	101
—	—	—	—	—	—	4454

Соответствующие значения ускорений и скоростей в измерении метр — минута приведены в таблице 36. Так как для построения диаграммы нужны значения половины величины ускорения $\left(\frac{c}{2}\right)$, то в таблице 36 и подсчитаны эти величины:

$$\frac{c}{2} = \frac{\xi}{2} (f_k - w_k - 1000 \varphi_k^2) = 33, (3) (f_k - w_k - 1000 \varphi_k^2).$$

Значения $(f - w_0)$ и $(w_0 - b_k)$ взяты из таблицы 26 (§ 89).

Т а б л и ц а 36

v км/ч	v м/мин	$f_k - w_0$	Половина величины ускорения $\frac{c}{2} = \frac{\xi}{2} (f_k - w_0) = 16, (6) (f_k - w_0)$	$(w'_0 + w'_3 + b_k)$	Половина величины замедления $-\frac{c}{2} = -\frac{\xi}{2} (w'_0 + w'_3 + b_k) = -16, (6) (w'_0 + w'_3 + b_k)$
1	2	3	4	5	6
0	0	7,00	116,70	— 14,50	— 234
10	167	7,00	116,70	— 13,66	— 228
15	250	3,75	62,33	—	—
20	333	2,03	35,80	— 13,45	— 224
25	467	1,05	17,50	—	—
30	500	0,26	5,00	— 13,37	— 222
32,5	542	0,00	0,00	—	—
35	583	— 0,50	— 8,33	—	—
40	667	— 1,00	— 16,67	— 13,36	— 222
45	750	— 1,51	— 25,00	—	—
50	833	— 2,02	— 33,00	— 13,39	— 223
60	1000	—	—	—	—

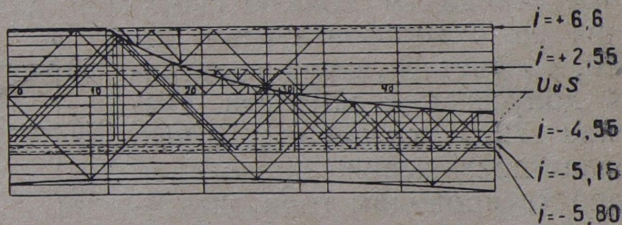
Для построения кривых задаемся масштабами:

ускорения с 100 м/мин² в 1 см;

скоростей v 100 м/мин в 1 см;

пути с 100 м в 1 см.

Имея величины ускорений, строим в заданном масштабе кривые ускорений для случая движения паровоза с работой машины (с паром) (по $f_k - w_k$) и для торможения (по $w'_0 + w'_3 + b_k$) (черт. 76). Значения ускорений для различных уклонов измеряются ординатами той же кривой, но не от оси ov , а от параллельных ей осей, проведенных от нее на расстоянии $\frac{16, (6)}{100} i$ см.



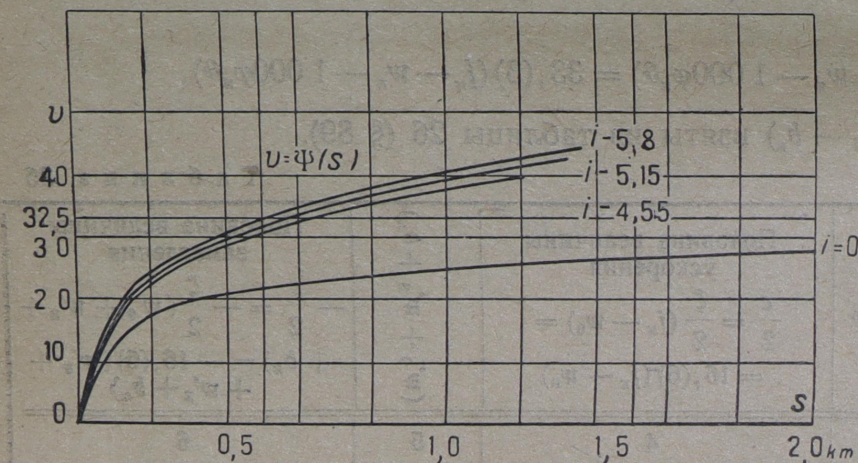
Черт. 76.

Для удобства, на диаграммах ускорений проведем ряд линий, параллельных оси ov , для различных уклонов через интервалы, соответствующие $i = 1$.

По кривой ускорений строятся (как указано в § 38) кривые изменения скоростей на различных подъемах при увеличении скоростей, при уменьшении скоростей без торможения и при уменьшении скоростей при торможении (черт. 77, 78, 79): для перегона AB нужно иметь кривые разгона для $i = 0$, $i = -4,55$ и $i = -5,8$, кривые замедления движения для $i = +2,55$ и $i = +6,6$ и кривую замедления при торможении для $i = 0$. Эти кривые построены на диаграммах (черт. 77, 78 и 79).

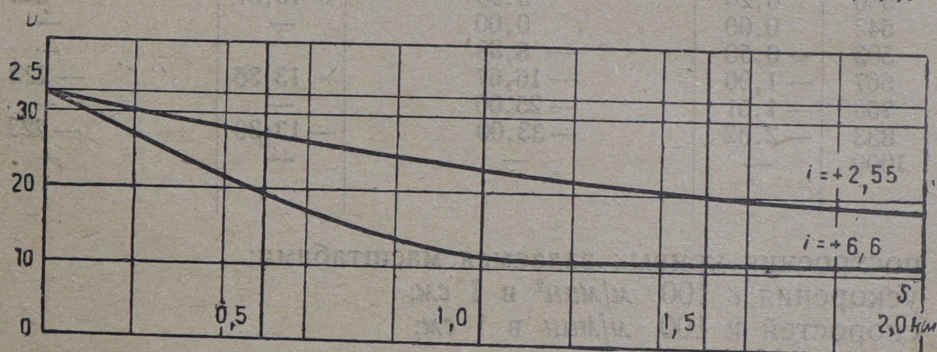
Пользуясь этими кривыми, как шаблонами, строим общую кривую $v = \psi(s)$ для всего перегона АБ (черт. 80). Для этого прикладываем кривую скорости для $i = 0$ (черт. 77) к начальной точке профиля А и переводим ее на диаграмму профиля (черт. 80) (путем прокалывания или другим способом).

Для элемента ac берем кривую скоростей для $i = -4,55$ (черт. 77) и помещаем ее таким образом, чтобы линия Os диаграммы изменения скоростей (черт. 77) совпала с нулевой линией диаграммы профиля (черт. 80), передвигаем диаграмму с



Черт. 77. Диаграмма изменения скорости движения (при увеличенной скорости).

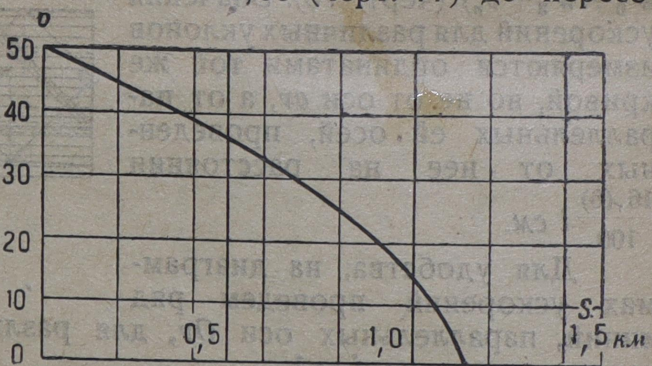
кривой скоростей вдоль этой линии до тех пор, пока какая-либо точка линии скоростей не совпадет с точкой a_1 конца кривой $v = \psi(s)$, проведен-



Черт. 78. Диаграмма изменения скорости движения (при уменьшенной скорости).

ной по линии скоростей для $i = 0$ в пределах элемента Аа. От этой точки переводим кривую скоростей для $i = -4,55$ (черт. 77) до пересечения ее с горизонтальной линией, соответствующей предельной допускаемой скорости движения $32,5 \text{ км/ч} = 542 \text{ м/мин}$. После достижения предельной скорости проводим горизонтальную линию.

Таким же порядком продолжаем построение на всем протяжении перегона АБ. При этом при переходе на более трудные элементы профиля пользуемся кривыми убывающих скоростей (черт. 78). В конце перегона пользуемся кривой скоростей, построенной для торможения (черт. 79). На этой же диаграмме (черт. 80) нанесена для сравнения кривая $v = \psi(s)$, построенная по способу Липца (перенесена в виде пунктирной линии с изменением масштаба с черт. 70).



Черт. 79. Диаграмма изменения скорости движения при торможении.

Для определения времени пробега строим равнобедренный треугольник, основание которого соответствует 1 км пути (10 см) и высота соответствует скорости $60 \text{ км/ч} = 1000 \text{ м/мин.}$ (10 см). Этот треугольник чертится на плотной бумаге и вырезается и затем помещается на диаграмме $v = \psi(s)$ так, чтобы его основание было параллельно оси Os , вершина пришлась бы на кривой $v = \psi(s)$, и левое ребро прошло бы через начальную точку A кривой $v = \psi(s)$. Прочертив стороны треугольника, передвигаем его вдоль чертежа так, чтобы основание его оставалось параллельным оси Os , вершина приходилась бы на кривой $v = \psi(s)$, а левое ребро прошло бы через правый конец основания предыдущего треугольника (черт. 80).

Примечание. Обводить треугольники нет надобности: достаточно чертой отмечать пересечение правого ребра с нулевой линией. На черт. 80 треугольники обведены для наглядности.

Длина пути, соответствующая отрезкам, образованным пересечением оси Ov с ребрами треугольника, т. е. основаниям начерченных на диаграмме треугольников, проходит поезд в одну минуту. Следовательно, число треугольников дает число минут.

При достижении установившейся скорости движения на каком-либо элементе нет надобности строить треугольники: в этих случаях можно измерить оставшуюся длину элемента и определить время прохода его по формуле: $t = \frac{l}{v} \cdot 60$ минут.

Для перегона AB элементами с большим протяжением, на котором поезд идет с установившейся скоростью, являются элементы acd , de и fgh .

На элементе acd при помощи построения треугольника определяется время хода на протяжении 400 м, а на протяжении $5,500 - 0,400 = 5,100 \text{ км}$ определяем время по формуле: $t = \frac{l}{v} \cdot 60 \text{ м.}$

При скорости $v = 32,5 \text{ км/ч}$ получаем:

$$t = \frac{5,100 \cdot 60}{32,5} = 9,4 \text{ м.}$$

На элементе de построением треугольников определено время хода на протяжении 3,0 км. На остальном протяжении $5,500 - 3,000 = 2,5 \text{ км}$ поезд идет со скоростью $v = 17,5 \text{ км.}$ Время хода на остальной части элемента составляет:

$$t = \frac{2,5 \cdot 60}{17,5} = 8,75 \text{ м.}$$

На элементе fgh построением треугольников (полтора треугольника) определено время хода на протяжении 0,43 км. На остальном протяжении $7,00 - 0,43 = 6,57 \text{ км}$ поезд идет со скоростью $v = 32,5 \text{ км/ч.}$ Время хода на остальной части элемента составляет:

$$\frac{6,57 \cdot 60}{32,5} = 12,15 \text{ м.}$$

На всем протяжении перегона поместилось 32,5 треугольника, которым соответствует 32,5 минуты хода.

На элементе cd нужно внести поправку по спрямлению профиля, которая нами была раньше (§ 94) определена в размере 0,25 минуты.

Итого, полное время прохода перегона AB получается равным:

$$T = 9,4 + 8,75 + 12,15 + 32,5 + 0,25 = 63,05 \approx 63 \text{ минуты.}$$

Т а б л и ц а 37

ВЕДОМОСТЬ ЭЛЕМЕНТОВ ПРОФИЛЯ

Километры	Пикеты	Длина элементов профиля (в метрах)	Уклоны $\pm i$	Кривые		Приведенные уклоны i_k и (гр. 4 + гр. 8)		Сумма однородных элементов		
				радиусы	подъемы, эквивалентные кривым $\frac{750}{R}$	туда	обратно	общая длина $\sum l$	приведенные уклоны со включением влияния кривых	
									туда	обратно
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
0		1000	0	—	—	0	0	—	—	—
1	5	500	— 2	—	—	— 2	+ 2	—	—	—
		500	— 3	—	—	— 3	+ 3	—	—	—
2		1000	— 5	—	—	— 5	+ 5	—	—	—
3	5	500	— 6	—	—	— 6	+ 6	—	—	—
	9	400	— 6	750	+ 1	— 5	+ 7	—	—	—
		600	— 6	—	—	— 6	+ 6	—	—	—
4	5	500	— 4	—	—	— 4	+ 4	—	—	—
5	4	400	0	—	—	0	0	—	—	—
	6	200	+ 2,5	—	—	+ 2,5	— 2,5	—	—	—
	9	300	0	—	—	0	0	—	—	—
		200	— 2,5	—	—	— 2,5	+ 2,5	—	—	—
6	1	400	0	—	—	0	0	—	—	—
	5	400	+ 2	—	—	+ 2	— 2	—	—	—
	9	600	+ 2	750	+ 1	+ 3	— 1	—	—	—
7	5	1000	+ 2	—	—	+ 2	— 2	—	—	—
8	5	1000	+ 3	—	—	+ 3	— 3	—	—	—
9	5	500	+ 2	—	—	+ 2	— 2	—	—	—
10	4	400	+ 2,5	—	—	+ 2,5	— 2,5	—	—	—
		600	+ 2,5	750	+ 1	+ 3,5	— 1,5	—	—	—

Таблица 37 (продолжение)

[illegible]

РАСЧЕТНАЯ ВЕДОМОСТЬ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ВРЕМЕНИ

Общая длина однород- ных элементов l км	Т у д а							
	Приведенные уклоны $\pm i_k$	Время пробега:		Расход пара:		Удельное сопро- тивление w_k	Механическая ра- бота по перево- дке 1 тонны $w_k l$	
		1 км	всего	на 1 км	всего			
		t мин.	tl	$\alpha = \frac{z}{v}$ с 1 м ² пов. нагр.	αl			
1	2	3	4	5	6	7	8	
I. Подсчет по неспрям								
1,2	+7	6	7,2	3,3	3,95	9,0	10,80	
0,8	+6	5,45	4,5	2,95	2,36	8,06	6,45	
0,6	+3,5	3,85	2,3	2,10	1,26	5,75	3,45	
1,0	+3	3,55	3,6	1,94	1,94	5,35	5,35	
0,6	+3	3,55	2,1	1,94	1,16	5,35	3,21	
1,6	+2,5	3,25	5,2	1,78	2,84	4,93	7,89	
1,9	+2	2,95	5,6	1,62	3,08	4,52	8,58	
6,6	0	1,85	$\left. \begin{array}{l} 1,85 \times \\ \times 17,3 = \\ = 32,0 \end{array} \right\}$	1,02	6,74	3,11	20,50	
0,5	-2	1,85		0,55	0,27	1,60	0,80	
0,2	-2,5	1,85		0,46	0,09	1,25	0,25	
0,5	-3	1,85		0,37	0,19	0,91	0,45	
2,0	-4	1,85		0,10	0,20	0,30	0,60	
2,0	-5	1,85		0,03	0,022	0,09	0,67	
1,2	-5	1,85		0,03		0,09		
4,3	-6	1,85		0,03		0,09		
25,0	—	$\Sigma t = 62,5$ Время на раз- гон и остан. } +3,0		$\Sigma \frac{z}{v} l = 24,30$		$\Sigma w \cdot l = 69,00$		
—	Всего	$T = 65,5$		$\Sigma \frac{zH}{v} l = 4700$		$\Sigma w \cdot l (P+Q) =$ $= 116,800$		
—	Среднее	Ср. техн. скор. $v_{cp} = 22,9$ км/ч		Ср. интенс. парообр. $z_{cp} = 22,1$ кг		$w_{cp} = 2,76$ кг/т		
II. Подсчет по спрям								
2,0	+6,6	5,80	11,6	3,16	6,34	8,62	17,34	
5,5	+2,55	3,30	18,2	1,79	9,83	5,00	27,50	
1,5	0	1,85	$\left. \begin{array}{l} 1,85 \times \\ \times 17,5 = \\ = 32,4 \end{array} \right\}$	1,02	7,14	3,11	4,66	
5,5	0	1,85		1,02		3,11	17,10	
4,0	-4,55	1,85		0,03		0,18	0,72	
5,5	-5,15	1,85		0,03	0,32	0,09	0,49	
1,0	-5,8	1,85		0,03		0,09	0,09	
25,0	—	62,2 Поправка по спрямлению } +0,25		— 23,63		— 67,90		
—	—	Время на раз- гон и остан. } +3,00		поправка по спрямл. (всего) } 47 кг		поправка по спрямл. (всего) } 1230		
—	Всего	$T = 65,45$		$B_k = 4647$ (с поправ.)		$N = 116,230$ (с поправ.)		
—	Среднее	$v_{cp} = 22,9$ км/ч		$z_{cp} = 21,9$ кг		$w_{cp} = 2,74$ кг/т		

Таблица 38
ПРОБЕГА, РАСХОДА ВОДЫ И МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ

О б р а т н о								Общая длина однородных элементов l км
Приведенные уклоны $\pm i_k$	Время пробега:		Расход пара:		Удельное сопротивление w_k	Механическая работа по перевозке 1 тонны $w_k l$		
	1 км	всего	на 1 км	всего				
	t мин.	tl	$a = \frac{z}{v}$ с 1 м ² пов. нагр.	al				
9	10	11	12	13	14	15	1	
л е н н о м у п р о ф и л ю								
— 5	1,58	$\left. \begin{array}{l} 1,58 \times \\ \times 7,7 = \\ = 12,2 \end{array} \right\}$	0,025	$\left. \begin{array}{l} 0,50 \\ 0,42 \\ 0,37 \\ 0,49 \\ 0,77 \\ 1,10 \end{array} \right\}$	0,08	0,096	1,2	
— 6	1,58		0,025		0,07	0,056	0,8	
— 1,5	1,58		0,70		2,00	1,200	0,6	
— 3	1,58		0,37		0,92	0,92	1,0	
— 1	1,58		0,82		2,35	1,41	0,6	
— 2,5	1,58		0,48		1,28	2,05	1,6	
— 2	1,58	0,58	1,10	1,65	3,13	1,9		
0	1,85	12,20	1,02	6,74	3,11	20,50	6,6	
+ 2	2,95	1,47	1,66	0,83	4,52	2,26	0,5	
+ 2,5	3,25	0,65	1,80	0,36	4,93	0,99	0,2	
+ 3	3,55	1,78	1,94	0,97	5,35	2,67	0,5	
+ 4	4,15	8,30	2,28	4,51	6,225	12,45	2,0	
+ 5	4,8	9,60	2,64	5,28	7,125	14,25	2,0	
+ 7	6	7,20	3,3	3,96	9,00	10,80	1,2	
+ 6	5,45	23,4	2,94	12,60	8,06	34,65	4,3	
—	Время на разгон и остан.	76,8	—	38,95	—	107,43	25,0	
—		+ 3,0						
—	$T = 79,8$	$\Sigma \frac{zH}{v} l = 7760$		$\Sigma w \cdot l (P+Q) = 181,200$		—	—	
—	Ср. техн. скор. $v_k = 18,8$ км/ч	Ср. интенс. пароорб. $z_{cp} = 29,6$ кг		$w_{cp} = 4,29$ кг/т		—	—	
л е н н о м у п р о ф и л ю								
— 5,4	1,58	$\left. \begin{array}{l} 11,6 \\ 2,8 \\ 10,2 \\ 18,6 \\ 27,6 \\ 5,50 \end{array} \right\}$	0,025	0,50	0,07	0,14	2,0	
— 2,15	1,58		0,55	3,02	1,60	8,80	5,5	
0	1,85		1,02	7,14	3,11	4,66	1,5	
0	1,85		1,02	—	3,11	17,10	5,5	
+ 4,75	4,65		2,55	10,20	6,80	27,20	4,0	
+ 5,35	5,05		2,74	15,10	7,40	40,70	5,5	
+ 6,20	5,50	5,50	3,01	3,01	8,25	8,25	1,0	
—	—	76,5	—	38,97	—	106,75	25,0	
—	—	+ 0,5 + 3,0	—	—	—	—	—	
—	$T = 80,0$	$B_k = 7550$		$N = 180,000$		—	—	
—	$v_{cp} = 18,8$ км/ч	$z_{cp} = 29,2$ кг		$w_{cp} = 4,26$ кг/т		—	—	

4. Определение времени пробега и расхода воды по способу установившейся скорости движения поездов на различных уклонах $\pm i$ (§§ 40, 51)

101. Для решение этой задачи нужно знать скорости движения, время прохода одного километра и расход воды на один километр для различных элементов профиля. Эти величины определены нами раньше (§ 91 табл. 27 и § 92 табл. 28). Остается сделать соответствующую выборку величины для элементов профиля перегона *АБ* и перемножить на соответствующие длины элементов. Эти подсчеты удобнее всего производить в таблицах.

Если профиль не спрямляется, то предварительно следует сделать выборку элементов и однородные элементы (по величине уклона $\pm i_k$) просуммировать для упрощения расчетов. Эта выборка произведена в таблице 37.

После подбора однородных элементов они выписываются в расчетную ведомость (таблица 38). В нее же проставляются времена пробега одного километра и расхода воды на один километр, которые берутся из диаграмм черт. 60, 63 или из таблиц 27 и 28, после чего производится подсчет. Поправка по спрямлению профиля взята по расчету, приведенному выше (в § 94).

Подобным же образом производится подсчет для элементов спрямленного профиля.

В таблице 38 для сравнения сделаны подсчеты для обоих случаев. При подсчете времени по спрямленному профилю должны быть внесены поправки для элемента *cd* в обоих направлениях в размере 9,5% и для элемента *fg* для обратного направления в размере 1,07%.

К времени хода, рассчитанному по установившимся скоростям движения, должно быть добавлено время на разгон и остановку.

Когда нет опытных данных, обычно добавляется для товарных поездов по $2 + 2 = 4$ минуты. В данном случае можно определить это время по разнице времени прохода элементов *Аа* и *кБ*, определенному по способу Липца и Лебедева при разгоне и остановке поезда, и времени прохода тех же элементов с установившейся скоростью.

При разгоне потеря времени составляет: $3,9 - 1,85 \cong 2$ мин. и при остановке: $2,68 - 1,85 \cong 1$ мин., следовательно, на разгон и остановку нужно добавлять 3 минуты.

Расход воды из тендера получается путем умножения величины расхода пара из котла на коэффициент 1,2.

Расход топлива определяется по диаграмме зависимости интенсивности парообразования и горения (черт. 71). Этот расчет приведен в таблице 39

Т а б л и ц а 39

	По неспрямленному профилю		По спрямленному профилю	
	туда	обратно	туда	обратно
1	2	3	4	5
Средняя интенсивность парообразования (из таблицы 32) Z_{cp}	22,1	28,75	21,90	28,60
Средняя интенсивность горения y	137,50	178,75	136,17	180,60
Время прохода перегона в часах $\frac{T}{60}$ (из табл. 32)	1,075	1,33	1,078	1,34
Расход топлива $yR \frac{T}{60}$	622 кг	998 кг	617 кг	1 002 кг

5. Определение времени прохода перегона и расхода воды по упрощенному способу (§§ 53, 60)

102. Как указано выше (§§ 53, 60), этот способ применяется в том случае, когда нет достаточных данных профиля пути, а также не установлен окончательно состав поезда.

Подсчет времени по этому способу в одном направлении производится по формуле:

$$T = aL - b\Sigma l_m + c\Sigma h_m + \tau$$

и для направлений туда и обратно вместе:

$$T = 2aL - b(\Sigma l'_m + \Sigma l''_m) + c(\Sigma h'_m + \Sigma h''_m) + 2\tau,$$

где:

L — длина всего перегона (в км);

Σl_m — сумма длин элементов с уклонами, на которых поезд идет со скоростью менее предельной,

Σh_m — общая сумма разниц отметок начала и конца этих элементов

$a = t_2$, т. е. времени прохода одного километра с предельной скоростью движения;

$$b = \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} \cdot i_2,$$

где:

t_1 — время прохода одного километра со скоростью на руководящем подъеме;

i_1 — величина руководящего подъема;

i_2 — величина уклона, на котором поезд достигает предельной скорости движения;

τ — время на разгон и остановку;

$$e = \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} > \tau, \tau = 3 \text{ мин.}$$

Расход пара определяется по формуле:

$$B_k = b_3 l_3 + m \Sigma l_m + n \Sigma l_n + p \Sigma h_m + q \Sigma h_n,$$

где:

Σl_m — сумма длин элементов с уклонами, на которых паровоз работает при полной возможной интенсивности парообразования (до достижения предельной скорости);

Σl_n — сумма длин элементов с уклонами, на которых поезд движется с предельной скоростью при неполном расходе пара;

l_3 — длина элементов с уклонами, на которых паровоз идет при закрытом регуляторе;

Σh_m и Σh_n — сумма разниц отметок конечной и начальной точек элементов, соответствующих l_m и l_n ;

b_3 — расход пара с 1 м² поверхности нагрева на 1 км пути при закрытом регуляторе:

$$m = \left[t_2 - \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} \cdot i_2 \right], \quad n = \left[b_3 - \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} \cdot i_3 \right], \quad p = \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)}$$

$$\text{и } q = \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)},$$

где:

i_1 — наибольший подъем, i_2 — уклон, на котором поезд достигает предельной скорости движения, i_3 — уклон, на котором может быть закрыт регулятор; b_1 , b_2 и b_3 — расход пара с 1 м² поверхности нагрева на 1 км пути с уклонами i_1 , i_2 и i_3 .

Работа при подсчете по этому способу разбивается на две части. Сперва должны быть определены все постоянные величины для данных условий, входящие в формулы, а затем может быть произведен подсчет времени хода и расхода воды.

Для подсчета коэффициентов и для ориентировки изыскателя должны быть определены уклоны, на которых поезд достигает предельной допускаемой скорости и на которых может быть закрыт регулятор. Предельная скорость для направления АБ принята $v = 32,5$ км/ч и для направления БА — $v = 38$ км/ч.

Определение уклона, на котором поезд достигает предельной скорости движения, может быть произведено по мощности паровоза (§ 52) по формуле: $i = \frac{\alpha (w_{0p} + i_p) \cdot v_p}{v} - w_0$. В нашем случае скорость на руководящем

подъеме $i_p = 7$ равняется $v_p = 10$ км/ч; удельное основное сопротивление на руководящем подъеме $w_{0p} = 1,5 + 0,05 \cdot 10 = 2$ км/ч. Предельная допускаемая скорость для направления АБ = 32,5 км/ч и для направления БА — $v = 38$ км/ч; соответственно этому удельное основное сопротивление при этих скоростях получается:

$$w_0 = 1,5 + 0,05 \cdot 32,5 = 2,125 \text{ и } w_0 = 1,5 + 0,05 \cdot 38 = 2,25$$

и коэффициент изменения мощности паровоза:

$$\alpha = 1,07 \text{ и } \alpha = 1,08.$$

Подставляя указанные величины в вышеприведенную формулу для определения уклона, получим:

Для направления АБ:

$$i = \frac{1,07 \cdot (2+7) \cdot 10}{32,5} - 2,125 = 0,855 \approx 1;$$

для направления БА:

$$i = \frac{1,08 \cdot (2+7) \cdot 10}{35} - 2,25 = 0,52.$$

Регулятор может быть закрыт на уклонах, равных по абсолютной величине сопротивлению поезда при закрытом регуляторе, что соответствует уклону около $i = -4,5$.

Времена t прохода одного километра будут составлять:

$$1) \text{ (при } v = 10 \text{ км/ч) } t_1 = \frac{60}{v} = \frac{60}{10} = 6 \text{ мин.};$$

$$2) \text{ (при } v = 32,5 \text{ км/ч) } t_2 = \frac{60}{32,5} = 1,85 \text{ мин.};$$

$$3) \text{ (при } v = 38 \text{ км/ч) } t_2 = \frac{60}{38} = 1,7 \text{ мин.}$$

Расход пара с 1 м² поверхности нагрева на 1 км пути $b = \frac{z}{v}$:

$$1) \text{ для уклона } i = +7 \text{ (при } v = 10 \text{ км/ч) } b_1 = \frac{33}{10} = 3,3 \text{ кг};$$

$$2) \text{ для уклона } i = +0,85 \text{ (при } v = 32,5 \text{ км/ч) } b_2 = \frac{33}{32,5} = 1,02 \text{ кг};$$

$$3) \text{ для уклона } i = -5 \text{ (при } v = 32,5 \text{ км/ч) } b_3 = \frac{1}{32,5} = 0,03 \text{ кг.}$$

(Расчет расхода и воды произведен только для одного направления АБ).

Выяснив основные величины, можно определить коэффициенты, входящие в формулы, которые будут равны:

$$1) a = t_2;$$

$$\text{для направления АБ: } a = 1,85;$$

$$\text{для направления БА: } a = 1,70;$$

$$2) c = \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)};$$

$$\text{для направления } AB: c = \frac{6 - 1,85}{7 - 0,85} = 0,675;$$

$$\text{для направления } BA: c = \frac{6 - 1,7}{7 - 0,52} = 0,66;$$

$$3) b = \frac{(t_1 - t_2)}{(i_1 - i_2)} i_2;$$

$$\text{для направления } AB: c = 0,675 \cdot 0,85 = 0,575;$$

$$\text{для направления } BA: c = 0,66 \cdot 0,52 = 0,345;$$

$$4) m = \left[b_2 - \frac{(b_1 - b_2)}{(i_1 - i_2)} i_2 \right] = 1,02 - \frac{3,3 - 1,02}{7 - 0,85} \cdot 0,85 = 0,675 \text{ (для направления } AB);$$

$$5) n = \left[b_3 - \frac{(b_2 - b_3)}{(i_2 - i_3)} i_3 \right] = 0,03 - \frac{1,02 - 0,03}{0,85 - (-4,5)} \cdot (-4,5) = 0,86 \text{ (для направления } AB);$$

$$6) p = \frac{b_1 - b_2}{i_1 - i_2} = \frac{3,3 - 1,02}{7 - 0,85} = 0,37 \text{ (для направления } AB);$$

$$7) q = \frac{b_2 - b_3}{i_2 - i_3} = \frac{1,02 - 0,03}{0,85 - (-4,5)} = 0,185 \text{ (для направления } AB).$$

Таким образом, формулы для определения времени хода и расхода пара принимают вид:

1) для направления AB :

$$T = 1,85L - 0,575\Sigma l_m + 0,675\Sigma h_m + 3;$$

$$B_n = 0,03l_3 + 0,675\Sigma l_m + 0,86\Sigma l_n = 0,37h_m + 0,185\Sigma h_n;$$

2) для направления BA :

$$T = 1,70L - 0,345\Sigma l_m + 0,66\Sigma l_n + 3.$$

Пользуясь этими формулами, можно произвести подсчет T и B_n , определив значения L , Σl_m , Σl_n , Σh_m и Σh_n .

Значения этих величин подсчитаны для перегона AB в таблице 40.

Т а б л и ц а 40.

Т у д а						О б р а т н о					
элементы	сумма длин элементов (км)		отметки		разница отметок	элементы	сумма длин элементов (км)		отметки		разница отметок
	l_m	l_n	начала элемента h_1	конца элемента h_2			начала элемента h_1	конца элемента h_2			
									$h_2 - h_1$		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<i>Ad</i>	—	6,500	100,00	81,50	— 18,50	<i>Bk</i>	—	1,000	71,50	71,50	0
<i>de</i>	5,500	—	81,50	94,50	+ 13,00	<i>kj</i>	1,000	—	71,50	77,50	+ 6
<i>ef</i>	—	1,000	94,50	94,50	0	<i>ji</i>	—	1,000	77,50	77,50	0
<i>gh</i>	—	1,500	65,50	65,50	0	<i>hg</i>	—	1,500	65,50	65,50	0
<i>hi</i>	2,000	—	65,50	77,50	+ 12,00	<i>gf</i>	5,500	—	65,50	94,50	+ 29,0
<i>iB</i>	—	3,000	77,50	71,50	— 6,00	<i>fc</i>	—	8,000	94,50	81,50	— 13,0
						<i>ca</i>	4,000	—	81,50	100,00	+ 18,5
						<i>aA</i>	—	1,000	100,00	100,00	0
	7,500	12,000	—	Σh_m Σh_n	+ 25,00 — 24,50		10,500	12,500	—	Σh_m Σh_n	+ 53,50 — 13,00

Элемент fg в направлении AB не учитывается, так как общий уклон его близок к предельному (круче -5).

Подставляя полученные величины в выражение T и B_n , получим:

1) для направления AB :

$$T = 1,85L - 0,575\Sigma l_m + 0,675\Sigma h_m + 3 = 1,85 \cdot 25 - 0,575 \cdot 7,500 + \\ + 0,675 \cdot 25,0 + 3 = 46,2 - 4,3 + 16,9 + 3 = 61,8 \text{ мин.};$$

$$B_n = 0,03l_3 + 0,675\Sigma l_m + 0,86\Sigma l_n + 0,37\Sigma h_m + 0,185\Sigma h_n = \\ = 0,03 \cdot 5,5 + 0,671 \cdot 7,5 + 0,86 \cdot 12,0 + 0,37 \cdot 25,0 - 0,185 \cdot 24,5 = 20,03 \text{ кг};$$

2) для направления BA :

$$T = 1,7L - 0,345\Sigma l_m + 0,66\Sigma l_n + 3 = 1,7 \cdot 2,5 - 0,345 \cdot 10,5 + 0,66 \cdot 53,5 + 3 = \\ = 42,5 - 3,62 + 35,4 + 3 = 77,25 \text{ м.}$$

Расход воды из тендера паровоза сер. Э получится:

$$B_n = 1,2 \cdot b_n H = 1,2 \cdot 20,03 \cdot 194,4 = 4740 \text{ кг.}$$

6. Сводка результатов подсчетов

103. Для сравнения результатов, полученных при различных способах подсчетов, в таблице 41 представлены результаты подсчета времени пробега и расхода пара.

Т а б л и ц а 41

Способ расчета	Время пробега T				Расход пара B_n			
	туда		обратно		туда		обратно	
	мин.	%	мин.	%	кг	%	кг	%
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1. Липеца и Лебедева	64,0	100	76,5	100	4 797	100	7 450	100
2. То же по комбинации φ и ε . .	60,4	94,5	—	—	4 636	96,7	—	—
3. Н. Н. Дегтерева	63,0	98,5	—	—	—	—	—	—
4. Графоаналитический по не спря- мленному профилю	65,5	102,1	79,8	104,2	4 700	98,0	7 760	104,2
5. То же по спрямленному профилю	65,45	102,0	80,0	104,5	4 647	97,0	7 550	101,3
6. Упрощенный способ (для изыска- ний)	61,8	96,7	77,25	100,9	3 940	82,0	—	—

V. Определение механической работы паровоза и среднего сопротивления перегона AB (§§ 65, 66, 67)

104. Для определения механической работы нужно знать значение удельных сопротивлений на различных уклонах. Для получения этих величин должна быть построена диаграмма значений удельных сопротивлений (черт. 81) по данным таблицы 26 (§ 89).

Для крутых спусков принимаем условное сопротивление, определенное по сравнению с сопротивлением на площадке пропорционально расходу топлива, по формуле $w_2 = w_0 \frac{Y_2}{Y_1}$, где w_0 — сопротивление на площадке ($w_0 = 3,11$), Y_1 — расход топлива на площадке ($Y_1 = 63$ кг) и Y_2 — расход топлива на 1 км пути на спуске. Для нашего случая при предельной допускаемой скорости $v = 32,5$ км/ч получим для уклона $i = -3$ $Y_2 = 18$ и $w_2 = 3,11 \cdot \frac{18}{63} = 0,9$; для уклона $i = -4$ $Y_4 = 5$ и $w_4 = 3,11 \cdot \frac{5}{63} = 0,25$.

и для уклонов $i = -5$ и круче $Y_5 = 1$ и $w_5 = 0,05$. При предельной скорости $v = 38 \text{ км/ч}$ получаем для уклона $i = -3$, $Y_3 = 22$ и $w_3 = 1,1$; для $i = -4$, $y_4 = 10$ и $w_4 = 0,5$ и для уклонов $i = -5$ и круче $Y_5 = 1$ и $w_5 = 0,05$.

Подсчет механической работы удобно вести в той же ведомости, в которой ведется подсчет времени пробега и расхода воды (табл. 38). В эту ведомость должны быть вписаны значения w на различных уклонах, которые должны быть помножены на длины соответствующих элементов, и затем должен быть подсчитан итог.

В таблице 38 произведен подсчет по не спрямленному и спрямленному профилю.

Виртуальный коэффициент перегона равняется $\alpha_m = \frac{w_{cp}}{w_0}$, где w_{cp} — среднее сопротивление перегона, полученное по расчету, w_0 — сопротивление на горизонтальном пути; виртуальная длина $l_g = l \frac{w_{cp}}{w_0}$ и эквивалентный подъем $i_g = w_{cp} - w_0$.

Результаты подсчета приведены в таблице 42. В этой же таблице приведены результаты подсчета по формуле, рекомендованной циркуляром НКПС:

$$\alpha_m = \frac{[3(L - \Sigma l_{gp}) \pm H + \Sigma h_{gp} + 0,013 \Sigma \alpha^\circ]}{3L},$$

где: Σl_{gp} — сумма длин (в километрах) спусков с уклонами круче $i = -3$, H — разность отметок (в метрах) конечного и начального пунктов, Σh_{gp} — сумма абсолютных величин разностей отметок конечных и начальных пунктов спусков с уклонами круче $i = -3$ и $\Sigma \alpha^\circ$ — сумма центральных углов кривых на перегоне.

Для перегона АБ в направлении АБ („туда“) имеем:

$$L = 25,0;$$

$$\Sigma l_{gp} = 3,0 + 5,5 + 1,0 = 9,5; H = 71,5 - 100,0 = -28,5;$$

$$\Sigma h_{gp} = (97,5 - 81,5) + (94,5 - 65,5) + (77,5 - 71,5) = 16 + 29 + 6 = 51,0;$$

$$\Sigma \alpha^\circ = 30,52^\circ + 45,78^\circ + 45,78^\circ + 22,89^\circ + 22,89^\circ + 91,56^\circ + 15,51^\circ = 274,93^\circ;$$

$$\alpha_m = \frac{[3 \cdot (25,0 - 9,5) - 28,5 + 51,0 + 0,013 \cdot 275]}{25,0} = \frac{46,5 - 28,5 + 51,0 + 3,56}{25,0} = \frac{72,56}{25,0} = 2,90.$$

Для направления БА („обратно“) имеем:

$$L = 25,0;$$

$$\Sigma l_{gp} = 2,0, H = +28,5, \Sigma h_{gp} = 77,50 - 65,50 = 12,0 \text{ и } \Sigma \alpha^\circ = 274,93^\circ;$$

$$\alpha_m = \frac{[3 \cdot (25,0 - 2,0) + 28,5 + 12 + 0,013 \cdot 275]}{25,0} = \frac{69,0 + 28,5 + 12 + 3,56}{25,0} = \frac{113,06}{25,0} = 4,52.$$

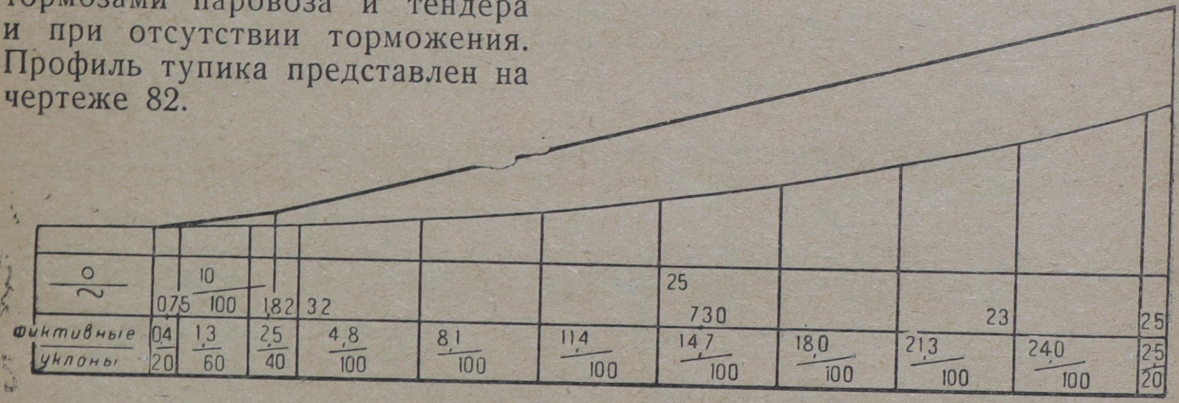
Т а б л и ц а 42

СВОДНАЯ ВЕДОМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ПОДСЧЕТОВ МЕХАНИЧЕСКОЙ РАБОТЫ И СРЕДНЕГО СОПРОТИВЛЕНИЯ ПЕРЕГОНА АБ

Способ подсчета	Т у д а					О б р а т н о				
	среднее сопротивление w_{cp}	эквивалентный подъем i_0	виртуальный коэффициент α_m	виртуальная длина l_0	механическая работа $w_{cp} \cdot L \cdot (P+Q)$	среднее сопротивление w_{cp}	эквивалентный подъем i_0	виртуальный коэффициент α_m	виртуальная длина l_0	механическая работа $w_{cp} \cdot L \cdot (P+Q)$
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1. Подробный подсчет по не спрямлен. профилю. .	2,76	—0,35	0,89 (100%)	22,21	116 500	4,29	+1,18	1,38 (100%)	34,50	183 000
2. Подробный подсчет по спрямленному профилю .	2,72	—0,39	0,88 (99,7%)	21,90	116 230	4,32	+1,11	1,39 (100,5%)	34,75	183 500
3. Подсчет по формуле циркуляра НКПС	2,90	—0,21	0,93 (104,5%)	23,20	122 300	4,52	+1,41	1,45 (105,0%)	36,30	220 000

ЗАДАЧА № 2

105. Определить условия остановки поезда весом $Q = 1563 м$ в составе 78 вагонов, ведомого паровозом сер. Э на улавливающем тупике при подходе поезда к тупику со скоростью $v = 50 км/ч$. Обслуживание поезда производится ручными тормозами, которые к моменту подхода поезда к тупику находятся в действии. Произвести также подсчет остановки поезда в случае торможения только тормозами паровоза и тендера и при отсутствии торможения. Профиль тупика представлен на чертеже 82.



Черт. 82.

При решении этой задачи нужно учесть влияние длины поезда (§ 56). При движении по ломаному профилю сопротивление поезда от подъемов будет меняться в зависимости от места нахождения поезда, при чем изменение сопротивления от влияния длины поезда может быть заменено фиктивными изменением профиля. В нашем случае будут иметь место следующие комбинации:

I. Поезд подходит к тупику. Сопротивление от подъема $i = 0$.

II. Паровоз вошел на подъем $i = 10$; удельное сопротивление всего поезда от подъема:

$$i_{II} = \frac{i_1 P + i_2 Q}{P + Q} = \frac{10 \cdot 127 + 0 \cdot 1563}{1690} = 0,75.$$

III. Паровоз и часть поезда вошли на подъеме $i = 10$, при чем паровоз дошел до конца этого подъема. При всей длине поезда, равной 20 м (паровоз) + 700 м (вагоны) = 720 м на подъеме $i = 10$ поместится часть вагонов, занимающих длину пути: $100 - 20 = 80$ м, а остальная часть состава, длиной: $700 - 80 = 620$ м, останется на площадке. Удельное сопротивление всего поезда от подъема составит:

$$i_{III} = \frac{10 \cdot 127 + 10 \cdot \frac{1563 \cdot 80}{700}}{1690} = \frac{1270 + 1790}{1690} = 1,82.$$

IV. Паровоз вошел на подъем $i = 25$, часть состава, длиной 100 м, находится на подъеме $i = 10$ и остальная часть, длиной: $700 - 100 = 600$ м, на площадке. Удельное сопротивление поезда от подъема составляет:

$$i_{IV} = \frac{25 \cdot 127 + 10 \cdot \frac{1563 \cdot 100}{700}}{1690} = \frac{3175 + 2235}{1690} = 3,2.$$

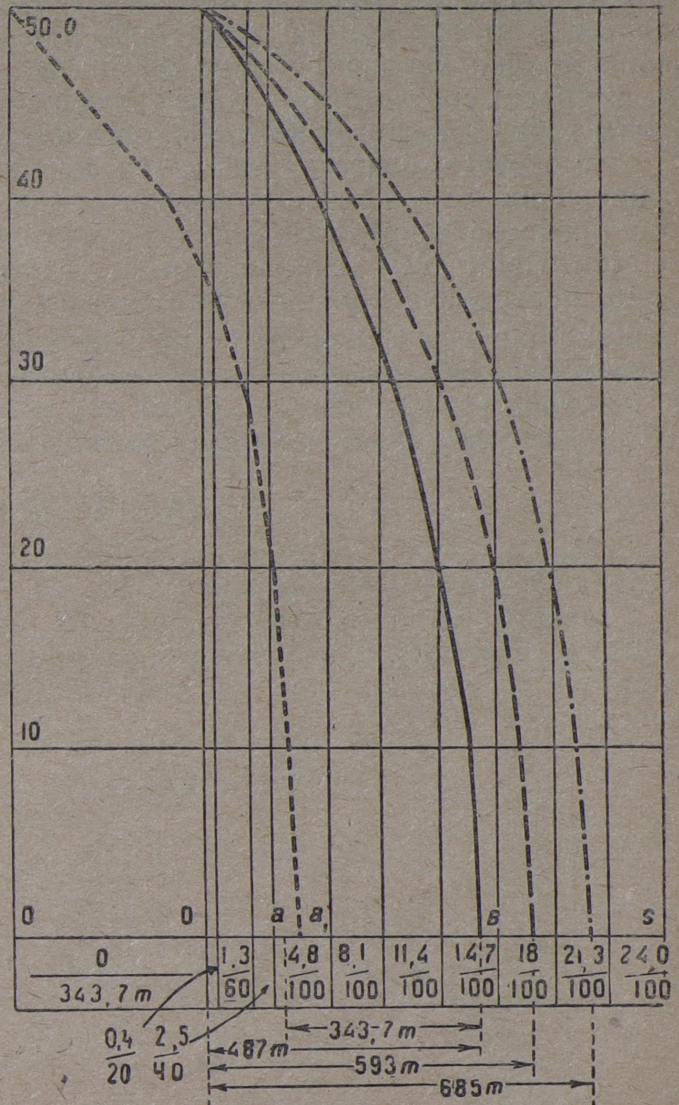
V. Паровоз и часть состава длиной: $700 - 100 = 600$ м, находится на подъеме $i = 25$, остальная часть состава, длиной 100 м, находится на подъеме $i = 10$. Удельное сопротивление поезда составляет:

$$i_V = \frac{25 \cdot 127 + 25 \cdot \frac{1563 \cdot 600}{700} + 10 \cdot \frac{1563 \cdot 100}{700}}{1690} = \frac{3175 + 33550 + 2235}{1690} = 23.$$

VI. Весь поезд находится на подъеме $i = 25$. Удельное сопротивление поезда от подъема $i_{VI} = 25$.

На промежуточных точках значения фиктивных подъемов получаются путем интерполяции, считая, что значения подъемов изменяются по закону прямой линии.

Получив значение подъемов для ряда точек, строим фиктивный профиль (черт. 82) и ведем дальнейший расчет обычным порядком, начиная от начальной точки подъема $i = 10$.



Черт. 83. Диаграмма изменения скорости движения поезда на улавливающем тупике (с учетом длины состава).

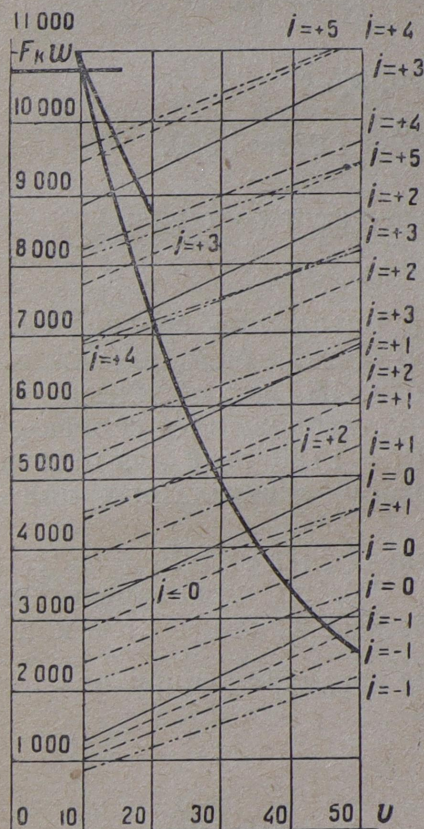
профиле с подъемом $i = 4$. Наибольший возможный состав определяется по формуле: $Q = \frac{F_k - (w'_0 + i_0)P}{(w''_0 + i_k)}$. В данном случае $F_k = 10\,700$, скорость на руководящем подъеме $v = 10$ км/ч соответственно:

$$w'_0 = 1,5 + 0,05v = 2,$$

$$w''_0 = 1,5 + 0,02v = 1,7,$$

$i_k = 4$ и $P = 120$ т, следовательно:

$$Q = \frac{10\,700 - (2 + 4) \cdot 120}{1,7 + 4} = \frac{10\,700 - 720}{5,7} = 1\,750 \text{ т.}$$



Черт. 85.

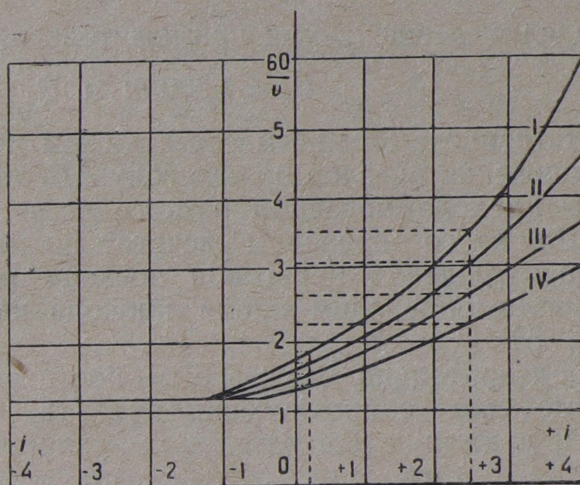


Диаграмма силы тяги $F_k = \varphi_k(z, v)$ паровоза серии Ш при $z=30$ и сопротивление поезда для составов
 $Q_1=1750 \text{ т}$ ————— $Q_3=1310 \text{ т}$ — — — — —
 $Q_2=1530 \text{ т}$ — — — — — $Q_4=1090 \text{ т}$.. — — .. — —

Черт. 86.

Вес поезда, соответствующий $\max Qv$ при движении по однородному профилю с подъемом $i = 4$, получится при скорости:

$$v = \frac{a + i}{b} \left(\sqrt{1 + \frac{Ab}{B(a + i)}} - 1 \right),$$

где коэффициенты a, b, A , и B нужно определить.

Для определения коэффициентов A и B задаемся двумя значениями силы тяги $F_1 = 10\,700$ кг при $v_1 = 10$ км/ч и $F_2 = 9\,000$ кг при $v_2 = 15$ км/ч. (черт. 85).

Значения A и B получаем по формулам:

$$A = \frac{F_1 v_2 - F_2 v_1}{v_2 - v_1} = \frac{10\,700 \cdot 15 - 9\,000 \cdot 10}{15 - 10} = 14\,100;$$

$$B = \frac{F_1 - F_2}{v_2 - v_1} = \frac{10\,700 - 9\,000}{15 - 10} = 340.$$

Значения a и b определяются из формул:

$$w'_0 = 1,5 + 0,05 v \text{ и } w''_0 = 1,5 + 0,02 v.$$

Очевидно, что $a = 1,5$, а b можно определить в зависимости от влияния сопротивления паровозов и вагонов, а именно:

$$b = \frac{0,05 P + 0,02 Q}{P + Q} = \frac{0,05 \cdot 120 + 0,02 \cdot 1750}{1870} = 0,022.$$

Подставляя значения коэффициентов в выражения скорости, получим:

$$v = \frac{1,5 + 4}{0,022} \cdot \left(\sqrt{1 + \frac{14100 \cdot 0,022}{340 \cdot (1,5 + 4)}} - 1 \right) = 20 \text{ км/ч.}$$

Соответствующий состав определится по формуле:

$$Q_1 = \frac{F_k - (w'_0 + i_k) P}{w''_0 + i_k} = \frac{7200 - (2,5 + 4) \cdot 120}{1,9 + 4} = 1088 \approx 1090.$$

Зададимся еще двумя промежуточными значениями составов:

$$Q_2 = 1530 \text{ т и } Q_3 = 1310 \text{ т.}$$

Соответственно выбранным составам мы должны определить средние скорости движения поездов по перегону АБ, для чего должны быть подсчитаны времена прохода поездами разного веса перегона АБ для обоих направлений. Для этого определим расчетом по методу установившихся скоростей время прохождения перегонов поездом веса $Q_1 = 1750 \text{ т}$, а для остальных случаев определим время прохода по способу эквивалентных подъемов (§ 54).

Предварительно должна быть построена кривая сила тяги $F_k = \varphi_k(z, v)$ и кривые силы сопротивления $w_k = f(v)$ (черт. 35), по ним определены скорости движения для различных уклонов, времени прохода 1 км и построены кривые $\frac{60}{v} = f_3(i)$ (черт. 36). Определение величин сопротивления произведено в таблице 43.

Таблица 43

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ЗНАЧЕНИЙ СОПРОТИВЛЕНИЯ ПОЕЗДОВ

v	w'_0	w'_0 P	w''_0	w''_0 Q при Q =				W_0 = w'_0 P + w''_0 Q при Q =			
				1750 т	1530 т	1310 т	1090 т	1750 т	1530 т	1310 т	1090 т
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
10	2,0	240	1,7	2975	2600	2235	1855	3215	2840	2470	2090
20	2,5	300	1,9	3325	2905	2490	2070	3625	3205	2790	2370
30	3,0	360	2,1	3675	3210	2750	2290	4035	3570	3110	2640
40	3,5	420	2,3	4025	3520	3050	2510	4445	3940	3470	2930
50	4,0	600	2,5	4375	3825	3250	2730	4855	4225	3850	3330

По данным этой таблицы построены кривые $w_k = f(v)$ на общей диаграмме с кривой силы тяги $F_k = \varphi_k(z, v)$ (черт. 35).

По этой диаграмме определены скорости движения для различных уклонов для выбранных нами составов поездов. Подсчет времени пробега 1 км для различных составов произведен в таблице 44.

Т а б л и ц а 44

$\pm i$	$Q = 1750 \text{ m}$		$Q = 1530 \text{ m}$		$Q = 1310 \text{ m}$		$Q = 1090 \text{ m}$	
	v	$\frac{60}{v}$	v	$\frac{60}{v}$	v	$\frac{60}{v}$	v	$\frac{60}{v}$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
+4 . . .	10,0	6	13,3	4,51	16,5	3,64	20,0	3,0
+3 . . .	14,5	4,14	17,5	3,43	20,5	2,93	24,1	2,49
+2 . . .	19,6	3,06	22,5	2,66	25,6	2,34	29,0	2,07
+1 . . .	26,0	2,31	28,8	2,08	31,6	1,90	35,5	1,69
0 . . .	34,1	1,76	36,5	1,64	40,0	1,50	43,7	1,37
-1 . . .	46,4	1,29	47,9	1,25	50,0	1,20	50,0	1,20
-2 . . .	50,0	1,20	50,0	1,20	50,0	1,20	50,0	1,20
-3 . . .	50,0	1,20	50,0	1,20	50,0	1,20	50,0	1,20
-4 . . .	50,0	1,20	50,0	1,20	50,0	1,20	50,0	1,20

На основании данных этой таблицы получены кривые $\frac{60}{v} = f_2(i)$ (черт. 86), по которым могут быть найдены скорости для определенного эквивалентного подъема перегона AB , значения которого определятся по средней скорости движения поезда состава $Q = 1750 \text{ m}$.

Подсчет времени прохода перегона поездом состава $Q = 1750 \text{ m}$ произведен в таблице 45.

Т а б л и ц а 45

Длина элементов $l \text{ км}$	Т у д а			О б р а т н о		
	$\pm i$	$\frac{60}{v}$	$t = \frac{60}{v} \cdot l$	$\pm i$	$\frac{60}{v}$	$t = \frac{60}{v} \cdot l$
1	2	3	4	5	6	7
1,0	0	1,76	1,76	0	1,76	1,76
5,0	-4	1,20	6,0	+4	6,00	30,0
1,5	0	1,76	2,64	0	1,76	2,64
4,5	+2	3,06	13,8	-2	1,20	5,40
1,0	0	1,76	1,76	0	1,76	1,76
5,5	-4	1,20	6,6	+4	6,00	33,0
1,5	0	1,76	2,64	0	1,76	2,64
2,0	+2	3,06	6,12	-2	1,20	2,40
1,0	0	1,76	1,76	0	1,76	1,76
1,0	-4	1,20	1,20	+4	6,00	6,00
1,0	0	1,76	1,76	0	1,76	1,76
25,0	—	Среднее 1,84	46,04	—	Среднее 3,57	89,12

По полученным значениям $\frac{60}{v}$ определяем по диаграмме $\frac{60}{v} = f_2(i)$ значения уклонов, которым соответствуют найденные величины $\frac{60}{v}$.

Из диаграммы черт. 86 получаем величины эквивалентного подъема для направления AB соответственно $\frac{60}{v} = 1,84$, $i_s = +0,175$ и для направления BA соответственно $\frac{60}{v} = 3,57$, $i_s = +2,475$. По той же диаграмме

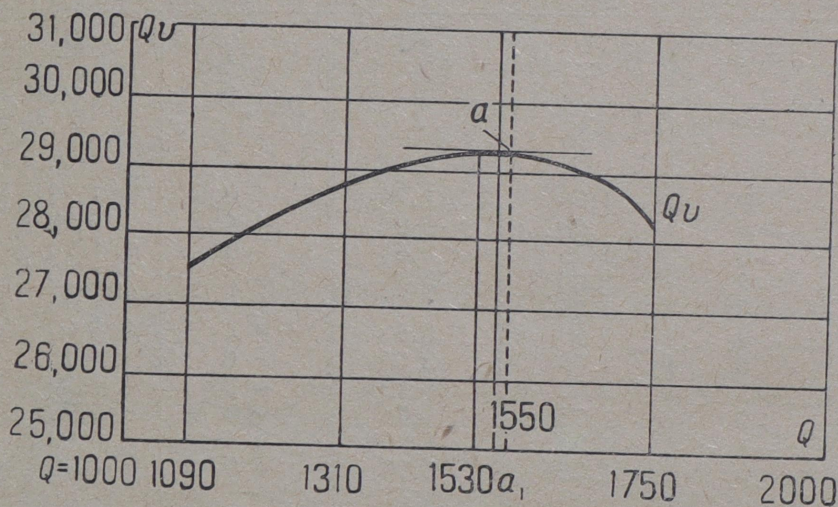
определяем значения $\frac{60}{v}$, соответствующие найденным эквивалентным подъемам для остальных составов, и затем определим времена прохода перегона *АБ* поездами всех выбранных составов и по ним средние скорости движения. Эти подсчеты произведены в таблице 46. В этой же таблице помещены соответствующие значения *Q* и подсчитаны значения *Qv*.

Т а б л и ц а 46

Q_t	Т у д а				О б р а т н о				$Q'v'$	$Q''v''$
	$\frac{60}{v}$	$\frac{60}{v} l$	$\frac{60}{v} l + \tau$	v км/ч	$\frac{60}{v}$	$\frac{60}{v} l$	$\frac{60}{v} l + \tau$	v км/ч		
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1 750	1,84	46,04	49,04	30,5	3,57	89,12	92,12	16,25	53 300	28 200
1 530	1,70	42,50	45,50	32,9	3,03	75,70	78,70	19,10	50 450	29 250
1 310	1,57	39,30	42,30	35,5	2,61	65,25	68,25	22,00	46 500	28 800
1 090	1,42	35,50	38,50	39,0	2,26	56,50	59,50	25,20	42 500	27 500

Если участок двупутный, то количество перевозимых грузов определится по формулам:

$$R' = \frac{24\beta'}{\alpha + \beta'} \cdot \frac{Q'v'}{(L + t'_0v')} \quad \text{и} \quad R'' = \frac{24\beta''\varphi}{(\alpha + \beta''\varphi)} \cdot \frac{Q''v''}{(L + t''_0v'')},$$

Черт. 87. Диаграмма зависимости значений *Qv* от веса поезда *Q*.

следовательно, наибольшее количество перевозимых грузов получится при *тах Q'v'* и *тах Q''v''*.

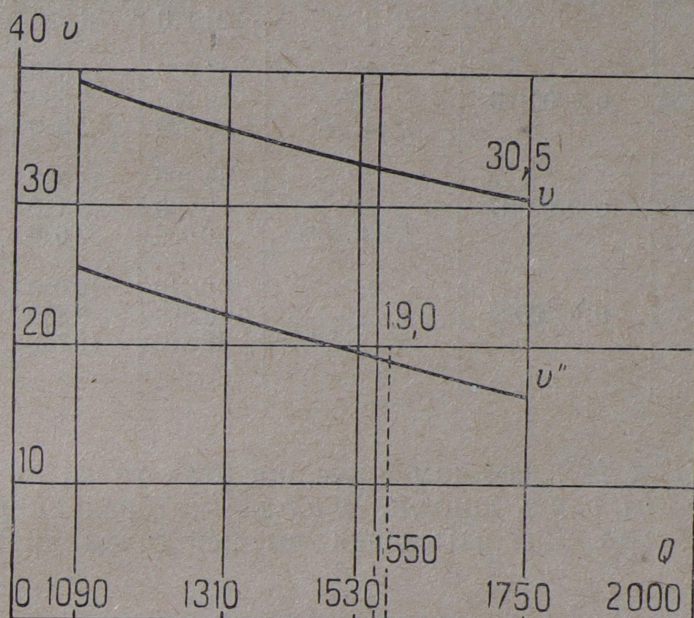
Из таблицы 46 видно, что в направлении *АБ* *тах Q'v'* будет при наибольшем возможном составе. Для обратного направления *тах Q''v''* определяем построением диаграммы (черт. 87) значений *Qv*, которые откладываем по оси ординат; по оси абсцисс отложены значения *Q*.

Проведя касательную к кривой $Q''v'' = f(Q'')$, найдем точку касания *a*, которая соответствует *тах Qv*. Соответствующий вес поезда, измеренный абсциссой Oa_1 , составляет: $Q'' = 1\,550\,т$.

Для определения скорости нужно построить диаграмму $v = f(Q)$ (черт. 88) по данным таблицы 46. По этой кривой находим $v'' = 19$, соответственно $Q''v'' = 29450$ т-км. Количество грузов, которое может быть перевезено в сутки, получится:

$$R' = \frac{24\beta'}{\alpha + \beta'} \cdot \frac{Q'v'}{(L + t'_0v')} = \frac{24 \cdot 0,8 \cdot 53300}{(0,5 + 0,8) \cdot (25 + 0,033 \cdot 30,5)} = 30500 \text{ т};$$

$$R'' = \frac{24\beta'\varphi}{(\alpha + \beta'\varphi)} \cdot \frac{Q''v''}{(L + t''_0v'')} = \frac{24 \cdot 0,8 \cdot 0,8}{(0,5 + 0,8 \cdot 0,8) \cdot (25 + 0,033 \cdot 19,7)} = 15400 \text{ т}.$$



Черт. 88. Диаграмма зависимости скорости движения v от веса поезда Q .

Если участок однопутный, то количество перевозимых грузов определится по формулам:

$$R' = \frac{24\beta'}{L \left[\frac{(\alpha + \beta')}{Q'v'} + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''v''} \right] + \left(\frac{\alpha + \beta'}{Q'} \right) (t'_0 + \psi t''_0)};$$

$$R'' = \frac{24\beta'\varphi}{L \left[\frac{(\alpha + \beta')}{Q'v'} + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''v''} \right] + \frac{(\alpha + \beta'\varphi)}{Q''} (t'_0 + \psi t''_0)}.$$

Следовательно, наибольшее количество перевозок получится при наибольших значениях выражений R' и R'' .

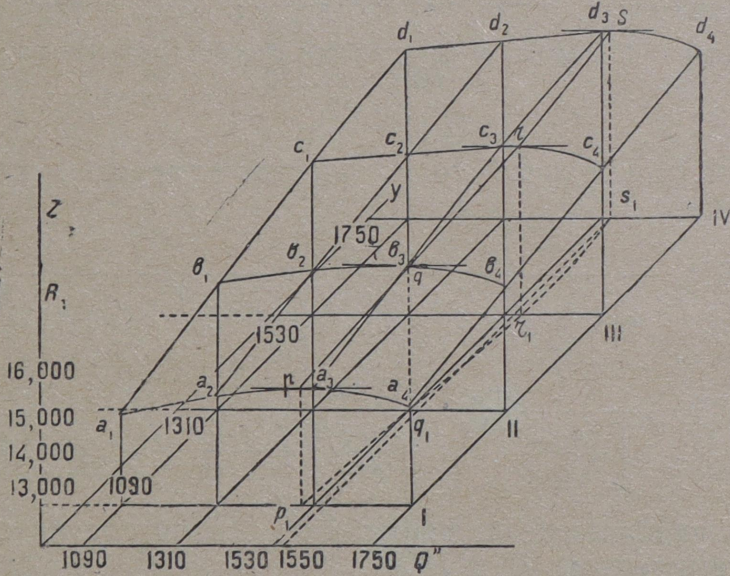
Для нахождения наибольшего значения этих величин определим значения их для различных комбинаций $Q'v'$ и $Q''v''$ и по ним построим диаграмму. Определение этих величин произведено в таблице 47.

Пользуясь величинами, полученными в таблице 47, строим диаграмму значений R' (для грузового направления) (черт. 89). При построении этой диаграммы откладываем по оси OX значение Q'' и по оси OY значение Q' , а по оси ординат значение R' . Концы ординат соединяем плавными кривыми $a_1a_2a_3a_4$, $b_1b_2b_3b_4$, $c_1c_2c_3c_4$ и $d_1d_2d_3d_4$, к этим кривым проводим касательные линии и точки касания соединяем кривой $pqrs$. Опуская из точек p , q , r и s перпендикуляры на плоскость XOY до пересечения их с ли-

Т а б л и ц а 47

Q'	$Q'v'$	$\frac{\alpha+\beta'}{Q'v'}$	$\frac{\alpha+\beta'}{Q'} (t_0'+\psi t''')$	Q''	1 750	1 530	1 310	1 090
				$Q''v''$	28 200	29 250	28 800	27 500
				$\frac{Q''v''}{\alpha+\beta'\varphi}$	0,0000405	0,0000390	0,0000397	0,0000415
				$\frac{\alpha+\beta'\varphi}{Q} (t_0'+\psi t_0'')$	0,0000126	0,000011	0,0000094	0,0000078
1 750	53 300	0,0000244	0,0000143	R'	11 710	12 040	11 870	11 500
				R''	9 400	9 610	9 550	9 250
				$R' + R''$	21 110	21 650	21 420	20 750
1 530	50 450	0,0000258	0,0000126	R'	11 450	11 800	11 600	11 300
				R''	9 170	9 580	9 300	9 100
				$R' + R''$	20 620	21 380	20 900	20 400
1 310	46 500	0,0000279	0,0000107	R'	11 180	11 500	11 400	10 920
				R''	8 900	9 120	9 050	8 780
				$R' + R''$	20 080	20 620	20 450	19 700
1 090	42 500	0,0000306	0,0000089	R'	10 810	10 950	10 800	10 600
				R''	8 560	8 800	8 720	8 630
				$R' + R''$	19 370	19 750	19 520	19 230

ниями I', II', III' и IV' , находим проекции этих точек p_1, q_1, r_1 и s_1 . Соединяем точки p_1, q_1, r_1 и s_1 кривой, $p_1q_1r_1s_1$, которая представляет собой проекцию кривой $pqrs$. Для отыскания высшей точки кривой $pqrs$ нужно



Черт. 89. Диаграмма зависимости количества перевозок от веса поезда.

ее проекцию перемещать по вертикальному направлению (по направлению) оси OZ) параллельно самой себе до тех пор, пока она не займет положения касательной линии к кривой $pqrs$. Из диаграммы черт. 89 видно, что высшею точкой кривой будет точка S . Этой точке соответствует значение $Q'=1750\text{ т}$ и $Q''=1550\text{ т}$. Соответствующие скорости получим из диаграммы $v=j_1(Q)$ (черт. 88): $v'=30,5\text{ км/час}$ и $v''=19,0\text{ км/час}$.

Количество грузов, которое может быть перевезено в сутки в грузовом направлении, равняется:

$$R' = \frac{24\beta'}{L \left[\frac{(\alpha + \beta')}{Q'v'} + \frac{(\alpha + \beta\varphi')}{Q''v''} \right] + \left(\frac{\alpha + \beta'}{Q'} \right) (t'_0 + \psi t''_0)} =$$

$$= \frac{24 \cdot 0,8}{25 \cdot \left(\frac{0,5 + 0,8}{1750 \cdot 30,5} + \frac{0,5 + 0,8 \cdot 0,8}{1550 \cdot 19,0} \right) + \left(\frac{0,5 + 0,8}{1750} \right) \cdot (0,033 + 0,9 \cdot 0,033)} = 1210 \text{ т.}$$

Подобным же способом может быть определено $\max R''$ и $\max (R' + R'')$.

ГЛАВНЫЕ ДАННЫЕ И РАЗМЕРЫ ПАРОВОЗОВ

Серия паровоза	Число осей	Диаметр движ. колес <i>D</i> мм	Конструкция предельн. скорость <i>v</i> км/ч	Число цилиндров		Диаметр цилиндров (мм)		Ход поршня <i>l</i> мм	Отнош. суммы полезных объемов цилиндр. низкого давления к сумме полезных объемов цилиндр. высокого давления <i>m</i>	Модуль силы тяги <i>M</i> кг	Давление пара в котле (манометр.) <i>p_к</i> кг/см ²	Поверхность испаряющая (водная) <i>H</i> м ²
				высокого давления <i>n_в</i>	низкого давления <i>n_н</i>	высокого давления <i>d_в</i>	низкого давления <i>d_н</i>					
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Т о в а р н ы е												
Оо	0 4-0	1150	45	2	—	500	—	650	—	16 950	12,0	152,6
Од	0 4-0	1200	45	1	1	500	730	650	2,13	16 100	11,5	153,0
ОВ	0 4-0	1200	50	1	1	500	730	650	2,13	16 600	12,0	152,6
Оч	0 4-0	1200	50	1	1	500	730	650	2,13	16 800	12,0	132,5
Чн	0 4-0	1220	45	1	1	500	730	650	2,13	15 200	11,0	166,5
Ы	0 4-0	1200	55	1	1	520	770	650	2,19	18 700	12,0	185,4
Ыч	0 4-0	1200	55	1	1	550	790	650	2,06	20 300	12,0	147,3
V	0 4-0	1220	55	2	—	575	—	650	—	20 500	12,0	163,0
P	1 4-0	1280	50	2	2	400	600	600	2,25	19 700	12,0	172,0
Ц	1 4-0	1250	55	1	1	530	750	650	2,00	17 000	12,0	180,0
Ш	1 4-0	1300	55	1	1	510	765	700	2,25	19 900	13,0	206,0
Щ	1 4-0	1300	65	1	1	510	765	700	2,25	22 000	14,0	206,1
Щп	1 4-0	1230	65	2	—	580	—	700	—	22 300	12,0	168,7
Щч	1 4-0	1300	65	1	1	540	765	700	2,00	21 400	14,0	177,0
Э, Э, Эш	0 5-0	1320	55	2	—	650	—	700	—	26 100	12,0	207,0
Эу	0 5-0	1320	55	2	—	650	—	700	—	26 465	12,0	195,25
Еф	1 5-0	1320	55	2	—	635	—	711	—	26 770	12,7	240,2
Ф (Фламин)	1 5-0	1450	60	4	—	600	—	660	—	30 900	14,0	262,0
Ө	0 3-3-0	1200	45	2	2	475	710	650	2,24	31 800	12,0	206,0
Өч	0 3-3-0	1230	45	2	2	510	770	650	2,28	37 600	12,0	177,9
П а с с а ж и р с к и е												
0												
Н ^А	1 3-0	1900	95	1	1	480	720	650	2,15	9 900	11,5	162,0
НВ	1 3-0	1900	105	1	1	500	730	650	2,13	10 600	12,0	143,0
Нв	1 3-0	1700	95	1	1	500	730	650	2,13	11 900	12,0	143,8
Ну	1 3-0	1700	95	1	1	500	750	650	2,25	13 200	13,0	156,0
Нп	1 3-0	1700	95	2	—	540	—	650	—	12 500	12,0	127,0
Я	1 3-0	1800	95	2	—	482	—	650	—	8 500	11,0	161,0
Ав	2 3-0	1830	100	1	1	500	730	650	2,13	10 600	11,5	152,0
Б	2 3-0	1830	105	2	—	550	—	700	—	14 600	13,0	164,0
Гп	2 3-0	1730	100	2	—	560	—	700	—	14 800	12,0	169,0
Ж	2 3-0	1700	90	1	1	500	730	660	2,14	10 900	12,0	167,0
З	2 3-0	1700	90	2	—	575	—	600	—	13 600	12,0	147,0
К	2 3-0	1700	105	2	—	575	—	650	—	14 700	12,0	164,0
Ку	2 3-0	1900	110	2	—	575	—	650	—	14 300	13,0	181,0
У	2 3-0	1730	105	2	2	370	580	650	2,46	17 200	14,0	182,0
Уу	2 3-0	1730	105	2	2	410	580	650	2,00	17 200	14,0	152,2
С	1 3-1	1830	110	2	—	550	—	700	—	15 040	13,0	207,2
СВ	1 3-1	1850	110	2	—	575	—	700	—	14 600	12,0	207,0
Су	1 3-1	1850	110	2	—	575	—	700	—	15 800	13,0	197,6
Л	2 3-1	1840	120	4	—	460	—	650	—	17 400	12,0	269,4
И	1 4-0	1500	70	2	—	575	—	650	—	16 700	12,0	163,0
М	2 4-0	1720	100	3	—	540	—	70	—	22 780	13,0	259,63

ВОЗОВ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ СССР

Приложение 1

Хвостовая часть (паровая)	Площадь колосниковой решетки	Вес паровоза			Тендер			Запас топлива			Расчетный вес паровоза с тендером в рабочем состоянии	Серия паровоза
		порожного	в рабочем состоянии	сцепной	число осей	вес порожнего тендера	запас воды в баке	нефти	угля	дров		
$H_n \text{ м}^2$	$R \text{ м}^2$	t	t	$P_k \text{ т}$		t	$t \text{ или } \text{м}^3$	t	t	м^3	$P \text{ т}$	
14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26
П а р о в о з ы												
—	1,85	43,86	49,86	49,86	4	23,5	23,0	6	7,5	—	95	Оо
—	1,85	46,4	52,5	52,5	3	16,4	14,0	—	7,0	—	85	Од
—	1,85	45,2	51,2	51,2	4	23,5	23,0	—	7,5	12,0	95	ОВ
—	1,85	48,0	55,0	55,0	4	21,5	23,0	—	7,0	—	95	Оч
—	1,85	45,4	50,0	50,0	3	17,2	11,0	5,5	7,0	—	80	Чн
—	2,55	53,3	59,5	59,5	3	19,6	16,0	7,5	7,0	—	95	Ы
43,0	2,55	55,0	60,85	60,85	3	19,6	16,0	7,5	7,0	—	95	Ыч
40,4	3,03	57,5	64,4	64,4	3	18,7	16,0	—	7,0	—	100	V
—	2,52	54,7	60,8	52,9	4	19,7	19,0	6,0	7,0	—	120	P
—	2,48	53,7	62,7	52,1	4	18,2	20,5	6,0	—	—	100	Ц
—	2,80	66,1	75,3	62,3	4	24,3	21,0	8,0	—	—	120	Ш
—	2,80	69,5	77,3	64,3	4	23,7	25,0	—	8,0	—	120	Щ
40,8	2,80	69,2	77,3	64,3	4	23,7	25,0	—	8,0	—	120	Щп
51,0	2,80	71,2	71,2	64,7	4	23,7	25,0	—	8,0	—	120	Щч
49,7	4,46	72,0	80,2	80,2	4	25,0	23,0	—	8,0	—	125	Э, Эг, Эш
66,0	4,46	76,89	85,6	85,6	4	24,0	23,0	6,0	8,0	—	130	Эу
61,3	5,98	79,8	88,0	77,6	4	25,2	27,0	—	8,0	—	135	Еф
60,8	5,10	89,9	104,7	87,6	3	25,1	24,0	—	7,0	—	150	Ф
—	3,50	74,5	12,3	82,3	4	22,4	24,0	—	4,0	—	125	Ө
47,4	3,40	82,2	89,1	89,1	4	23,5	23,0	—	7,5	—	135	Өч
П а р о в о з ы												
—	2,20	51,2	57,2	43,3	3	17,2	14,0	—	5,0	—	100	Н ^А
—	2,20	54,5	59,0	45,0	3	17,2	14,0	—	5,0	—	100	НВ
—	2,20	51,5	57,8	43,5	3	17,2	14,0	—	5,0	—	100	Нв
—	2,60	54,5	60,3	47,4	4	23,5	23,0	5,0	8,0	—	105	Ну
38,9	2,45	50,7	57,3	44,4	3	17,1	14,0	—	7,0	—	105	Нп
—	2,30	48,0	53,0	40,5	3	16,0	14,0	—	4,0	—	80	Я
—	2,16	58,0	63,5	41,7	4	23,5	23,0	—	5,0	—	105	Ав
41,0	2,80	68,0	74,5	47,0	4	23,5	23,0	—	5,0	—	120	Б
47,5	2,80	67,3	75,2	50,2	4	24,3	21,0	8,0	—	—	120	Гп
—	2,22	57,4	64,0	42,9	3	17,0	14,0	—	6,0	—	95	Ж
31,0	2,34	59,8	65,3	44,8	4	23,8	23,0	5,5	—	—	110	З
40,0	2,72	66,6	74,0	45,4	3	20,2	16,0	—	5,0	—	110	К
47,4	3,14	67,3	74,3	48,0	4	22,7	23,0	—	7,0	—	120	Ку
—	2,63	64,9	71,2	44,7	4	23,5	23,0	5,5	—	—	115	У
38,9	2,83	69,9	76,1	49,2	4	22,5	22,5	8,0	—	—	120	Уу
51,5	3,80	67,5	75,8	47,2	4	26,0	23,0	6,0	8,0	—	120	С
52,7	3,80	69,0	76,8	48,8	4	22,0	23,0	—	7,0	—	120	СВ
72,0	4,73	74,9	83,3	53,9	4	23,6	23,0	—	7,0	—	125	Су
85,5	4,65	85,6	96,7	51,9	4	27,5	28,0	10,0	—	—	150	Л
40,4	3,03	62,2	69,0	55,6	3	17,0	14,0	6,0	—	—	105	И
95,65	6,00	88,5	99,5	72,5	4	27,0	27,0	—	8,0	—	150	М

ГЛАВНЫЕ ДАННЫЕ И РАЗМЕРЫ ТЕПЛОВЗОВ ЖЕЛ. ДОР. СССР

С е р и я	Г л а в н ы й д в и г а т е л ь и х о л о д и л ь															
	Число осей	Диаметр осей	Конструкционная предельная скорость	Число цилиндров	Диаметр цилиндр.	Ход поршня	Наибольшее число оборотов в минуту	Предельное рабо- чее число оборотов в минуту	Наивысшая эффек- тивная мощность	Подача водяного насоса наибольшая	Подача масляного насоса наибольшая	Поверхность водя- ного холодильника	Поверхн. масля- ного холодильника	Наибольшее число оборот. вентилятора	Наибольшая подача воздуха	Наибольш. мощн., потребляемая вен- тилятор. в мин.
		мм	км/ч		мм	мм			ЛС	м³/ч	м³/ч	м²	м²		м³/ч	ЛС
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Э-эл	1-5-1	1 220	50	6	450	420	450	350	1 000	49	5	160	34	110	40 000	12
Э-мх	2-5-1	1 320	48	6	450	420	400	—	1 100	48	24	530	200	120	120 000	—

Н и к		Вспомогательный двигатель					Вспомогательный комп, ессор			Генератор постоянного тока					Главн. возбу- дитель
Коэффициент тепло- передачи водяного холодильника	Коэффициент тепло- передачи масляного холодильника	Число цилиндров	Диаметр цилиндр.	Ход поршня	Наибольшее число оборотов в минуту	Наибольшая мощность	Число оборотов в минуту	Давление воздуха	Мощность, потребляемая компрессором	Наибольшее число оборотов в минуту	Предельное рабо- чее число оборотов в минуту	Наибольшее напряжение	Наибольшая сила тока	Мощность часовая	Мощность
$\frac{\text{kal}}{\text{м}^2\text{ч } 1^\circ\text{C}}$	$\frac{\text{kal}}{\text{м}^2\text{ч } 1^\circ\text{C}}$		мм	мм		ЛС		кг/см ²	ЛС			W	A	kW	kW
18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33
110	35	—	—	—	—	—	—	—	—	430	350	1 100	1 300	800	18,5
—	—	4	115	180	1 350	60	500	80	9	2 500	—	$\frac{110}{135}$	—	6	—

Вспом. возбу- датель		Моторы тепловозов с электрической передачей					Моторы тепл. с мех. перед.		Аккумуляторная батарея				Вес тепловоза и зап. материалов						
Напряжение	Мощность	Число моторов	Включение в главной цепи	Передающее число зубчаток	Мощность часовая одного мотора	Расположение	Напряжение	Мощность	Число элементов	Напряжение	Напряжение зарядного тока	Наибольшая сила зарядного тока	Емкость при трех- часовом разряде	Вес порожнего тепловоза	Полный вес в ра- бочем состоянии	Сцепной вес	Запас топлива	Запас смазки	Запас воды
W	kW				kW		W	kW			W	A	Ah	т	т	т	т	т	т
34	35	63	37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53
110	1	5	Парал- лельн.	1,6, 14	142	На отдел. осях	—	—	54	—	135	6	60	—	118,3	87,5	6,0	1,0	Зимой 1,0
—	—	—	—	—	—	—	$\left. \begin{matrix} 110 \\ 110 \end{matrix} \right\}$	$\left. \begin{matrix} 1 \\ 4,6 \end{matrix} \right\}$	55	110	135	27	80	—	131	88	3,8	1,0	Летом 4,0 1,0

3. Основные данные об электровозах и электромоторных вагонах

1. Электровоз (проектный)

1. Число осей 0—3—3—0.
 2. Диаметр движущих колес $D = 1\,200$ мм.
 3. Конструкционная предельная скорость $v = 65$ км/ч.
 4. Система тока Постоянный ток.
 5. Напряжение тока в контактном проводе 3 000 в.
 6. Тяговые двигатели 6 последовательного возбуждения, соединены по два. Для разгона поезда могут быть соединены последовательно в две группы по три и все шесть.
 7. Напряжение на зажимах двигателей 1 500 в.
- | | Длительная работа | Часовая работа | Кратковременная |
|--|------------------------|------------------------|-----------------|
| 8. Мощность двигателей (всех) на обode ЛС. | 2 430 | 2 760 | |
| 9. Сила тяги на обode F_k | 20 560 кг | 24 270 кг | 35 000 кг |
| 10. Число оборотов в минуту | 630 | 605 | |
| 11. Скорость v км/ч | 31,8 | 30,6 | |
| 12. Объем охлаждающего воздуха | 78 м ³ /мин | 68 м ³ /мин | |
13. Наибольшее число оборотов в мин. 1 285 при скорости. . $v = 65$ км/ч.
 14. Система передачи от моторов к осям Зубчатая.
 15. Вес электровоза. $P_k = 132$ т

2. Электромоторные вагоны

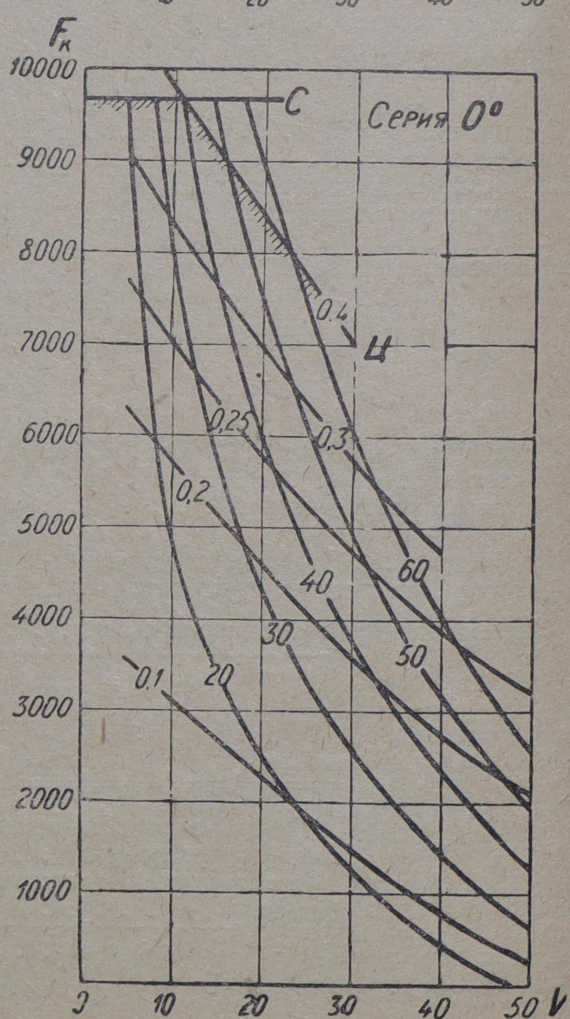
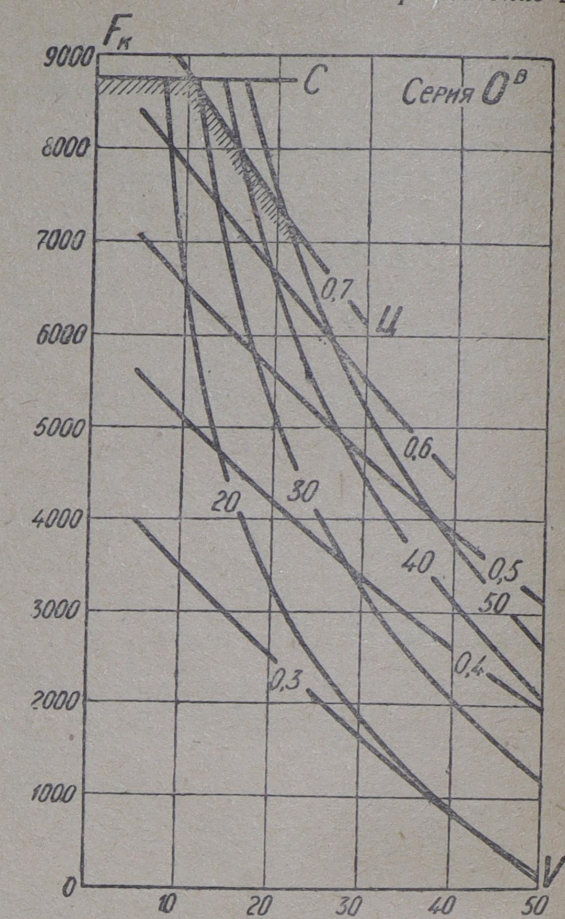
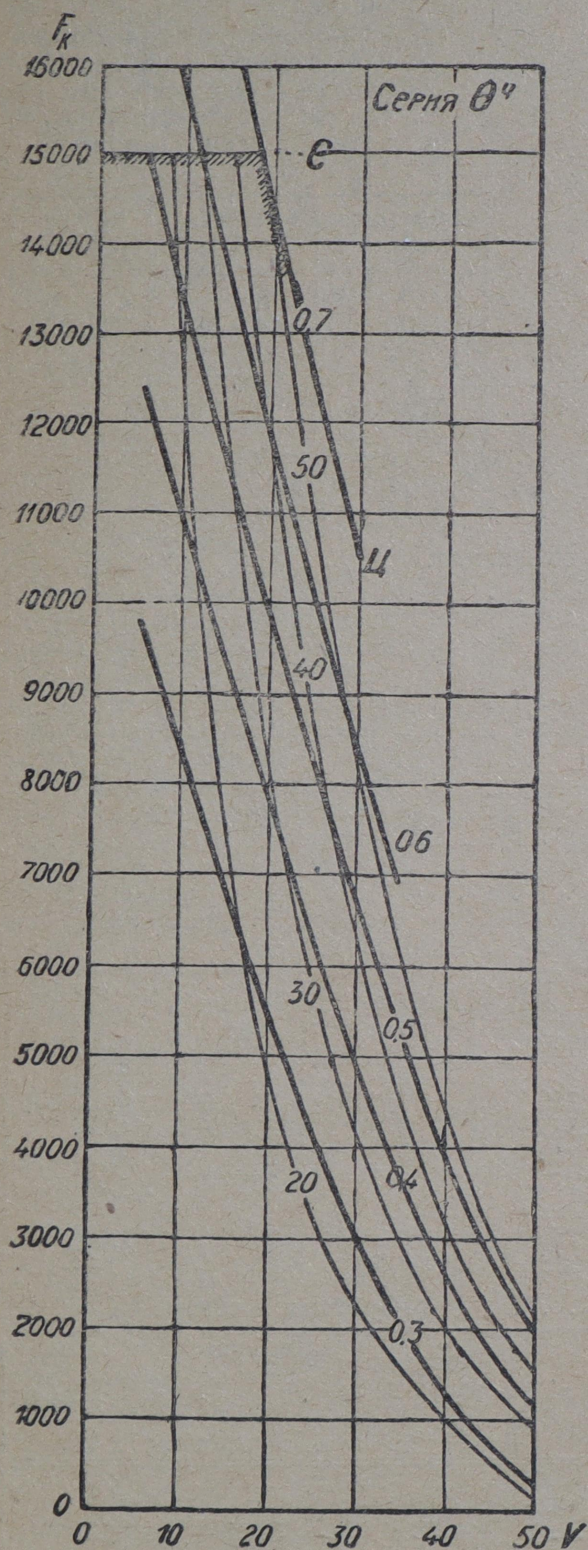
1. Число осей Основная единица — состав из трех четырехосных вагонов, из которых средний — моторный — 4—4—4.
2. Диаметр колес $D = 1\,050$ мм.
3. Конструкционная предельная скорость v При нормальной работе на прямой и пл. шадке 75 км/ч с ослабленным полем — 85 км/ч.
4. Ускорение при трогании с места. $a = 0,5$ м/сек².
5. Система тока Постоянный ток.
6. Напряжение тока в контактном проводе 1 500 в.
7. Тяговые двигатели Четыре мотора, соединенные последовательно по два.
8. Напряжение на зажимах двигателей 750 в.

	При напряжении (вольт)	Длительная работа	Часовая работа	Кратковременная работа
9. Мощность моторов ЛС на обode всех/одного	750 375	440/110 188/47	600/150 300/75	1142/235,5 —
10. Число оборотов в минуту.	750 375	970 490	860 390	690 —
11. Коэффициент полезного действия двигателей, включая зубчатую передачу	750 375	91,5% 89,5%	91,0% 86,6%	86,0% —
12. Система передачи от моторов к осям.				Зубчатая передача.

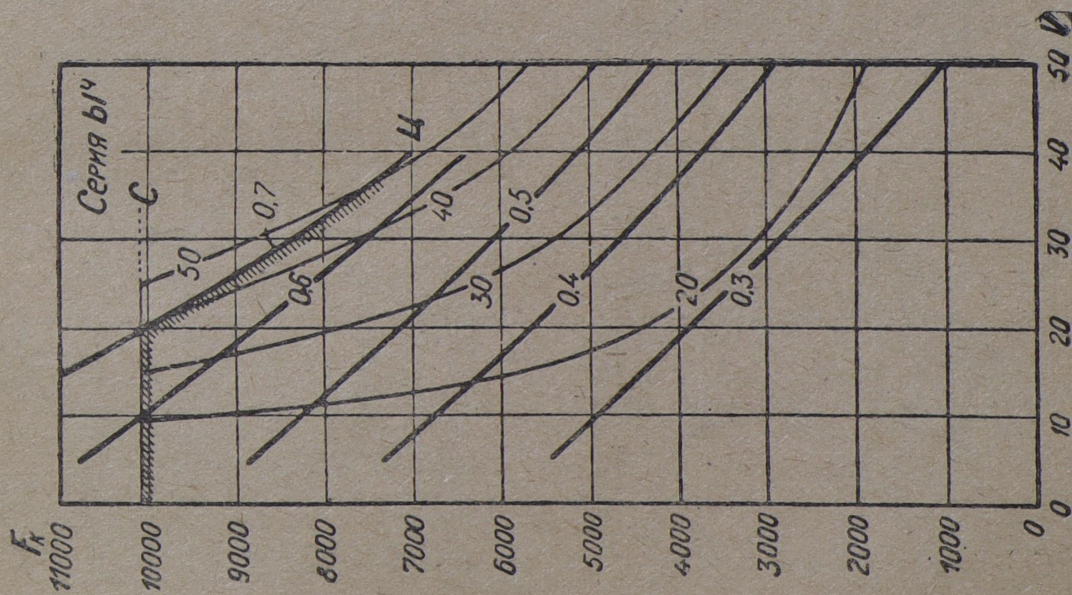
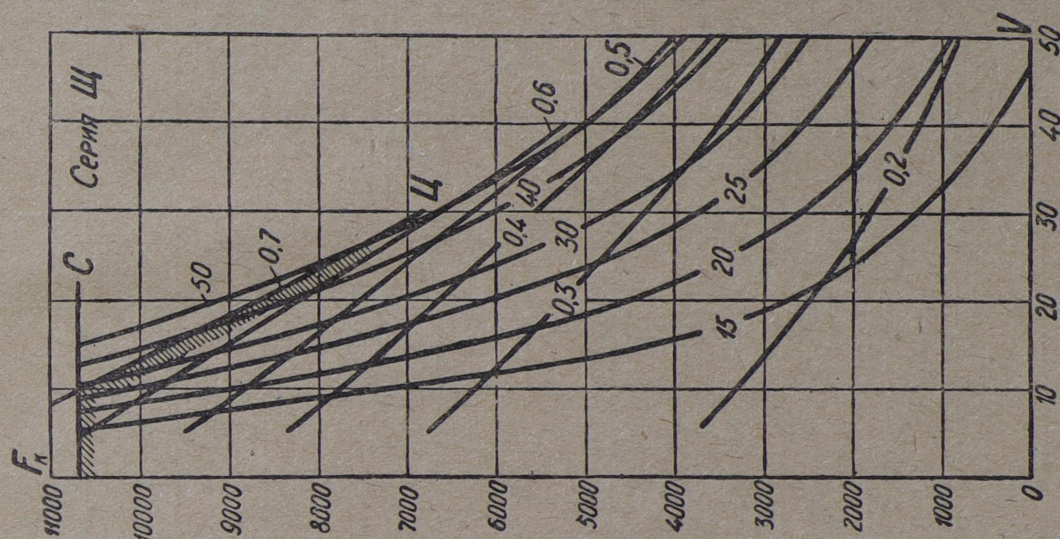
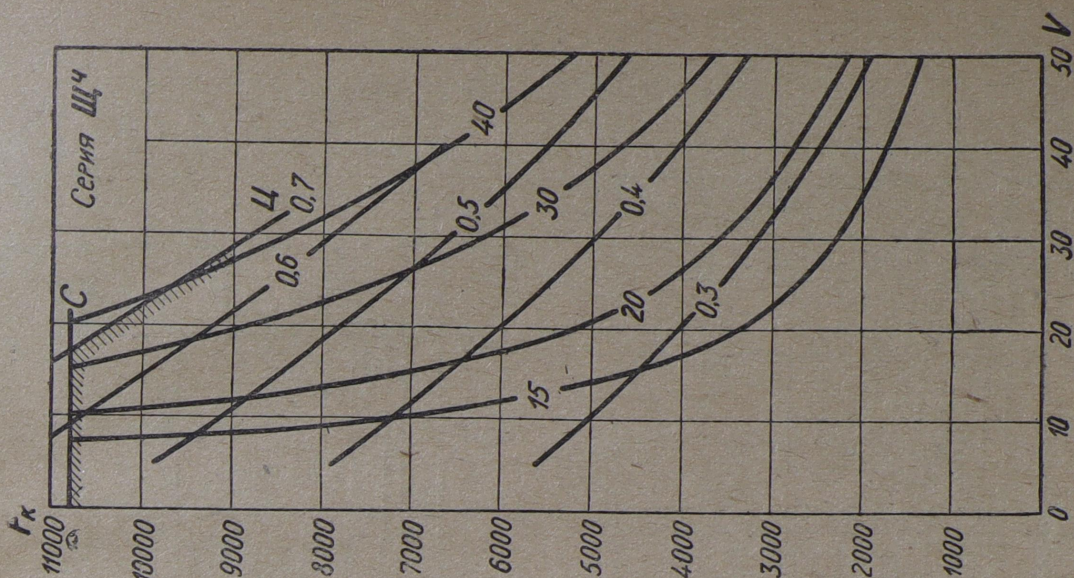
13. Вес вагонов	Моторного вагона	Прицепного вагона (одного)	Всего состава (три вагона)
	в т о н н а х		
Полный вес вагона с электрическим оборудованием	58	37,5	133
Вес нагрузки (пассажиров и багажа)	10	10	30
Итого	68	47,5	163

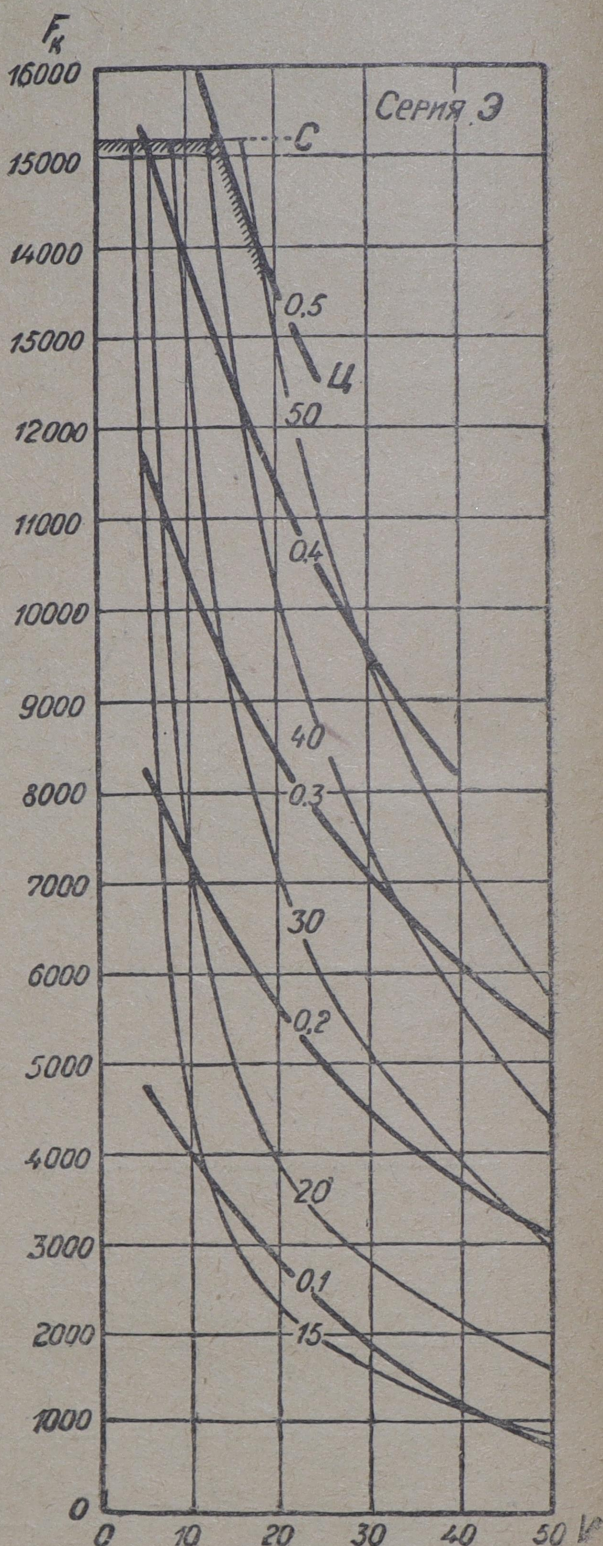
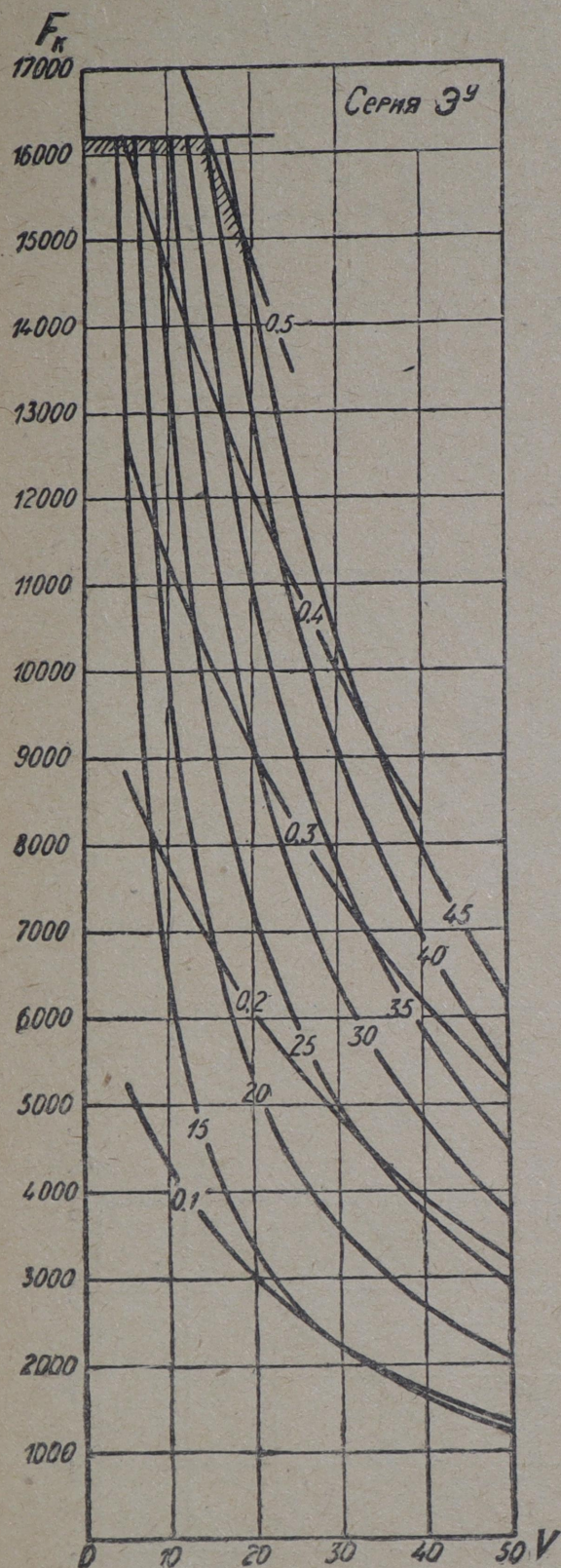
4. Вес одного мотора, включая зубчатую передачу 2 730 кг.

Сила тяги паровозов на ободе F_k .

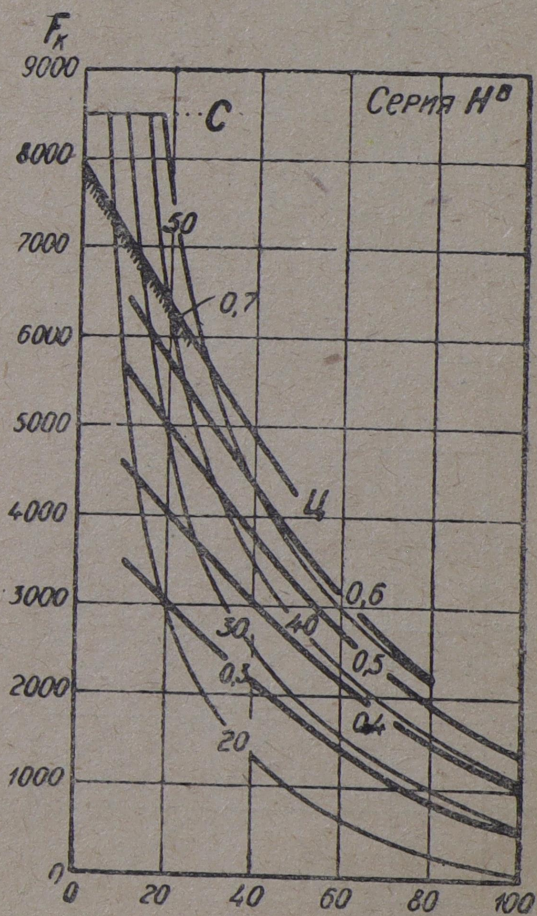
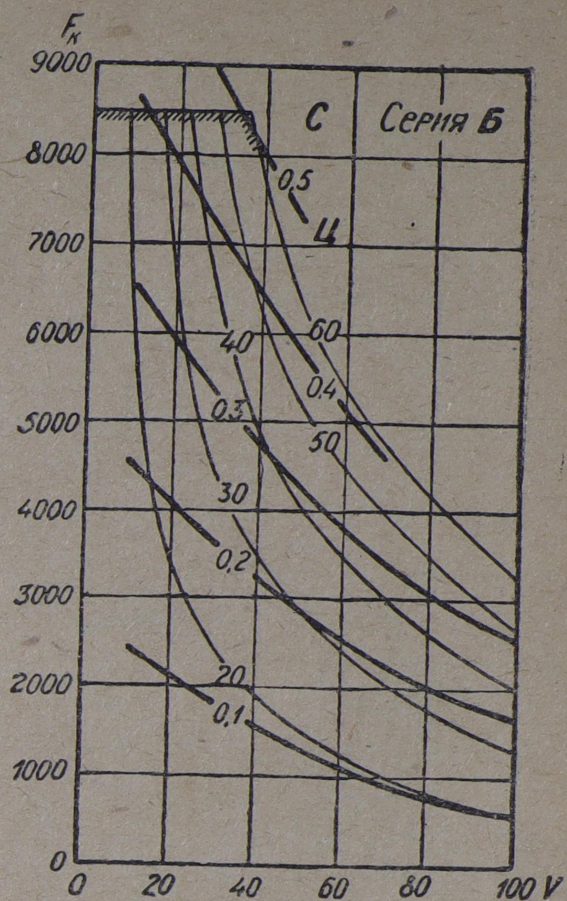
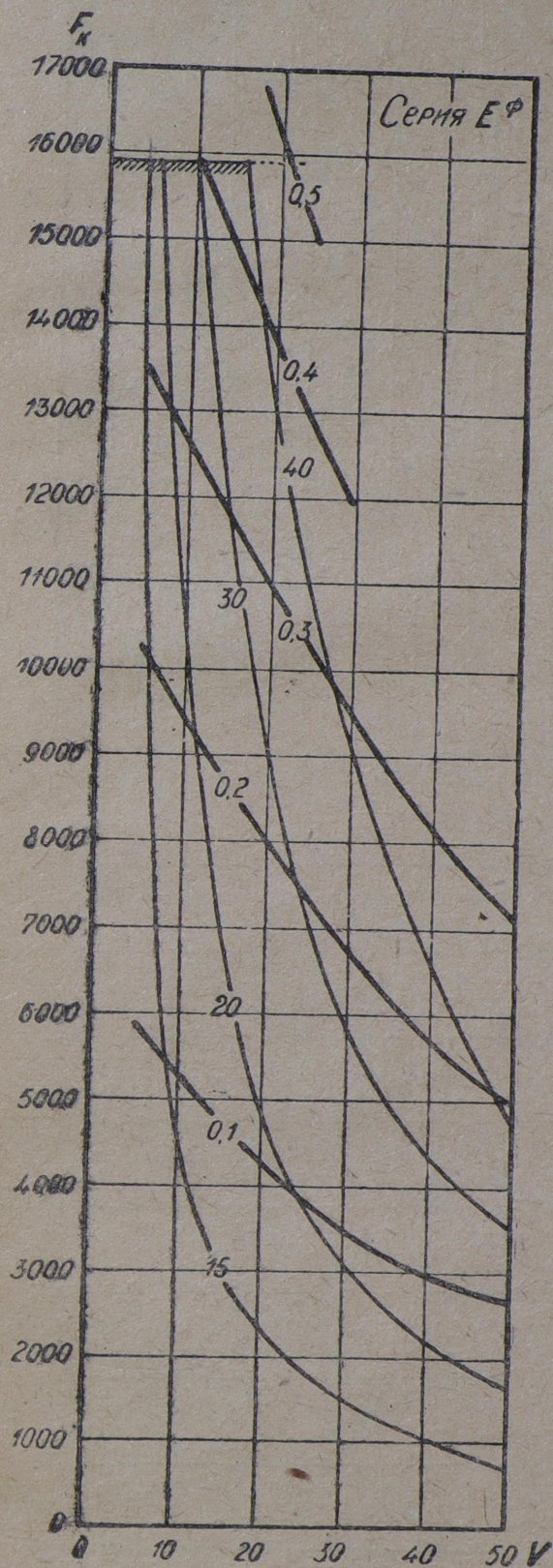


Сила тяги паровозов на ободу F_k

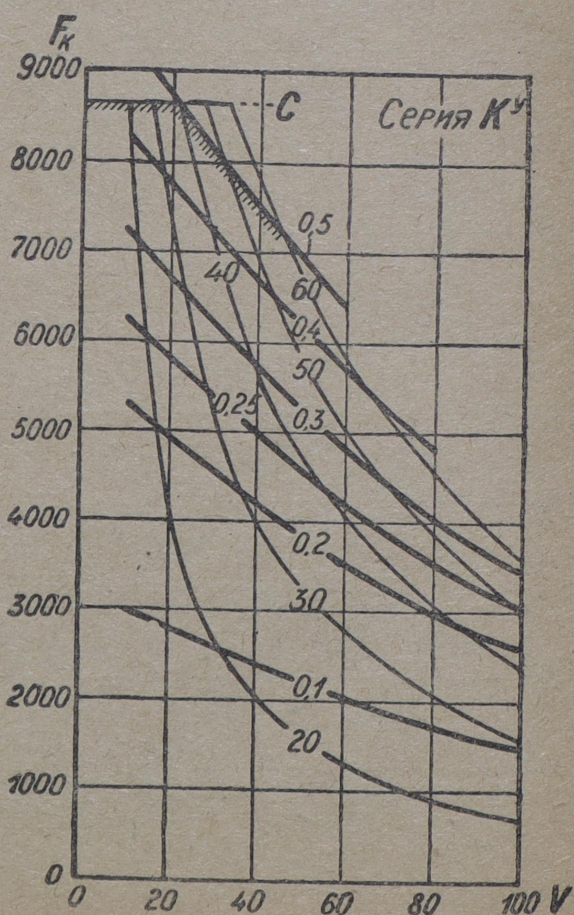
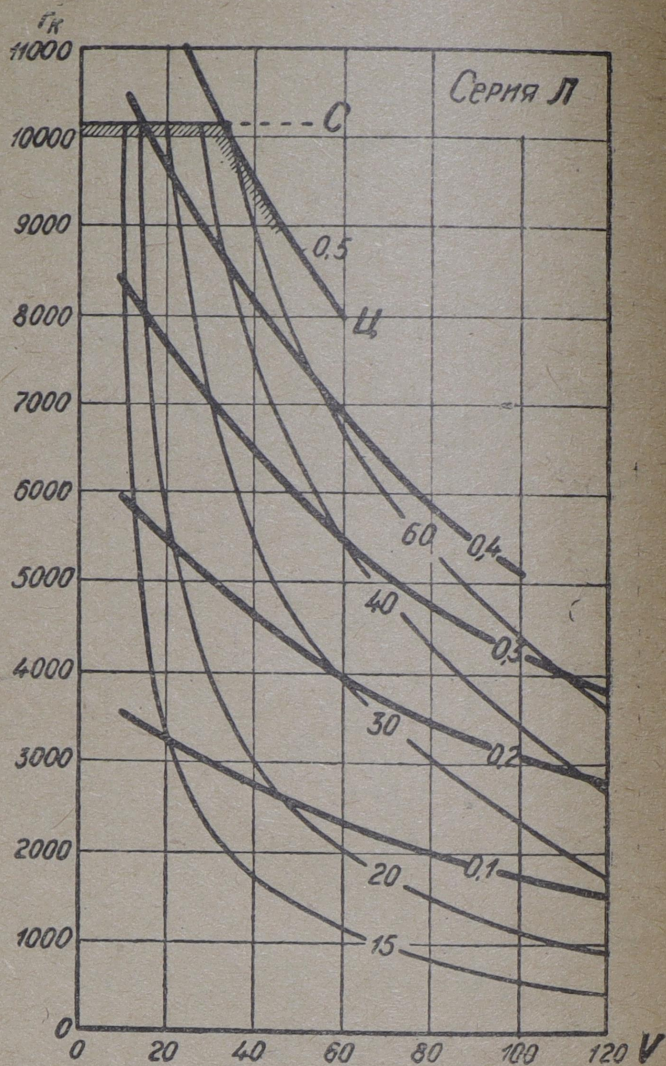
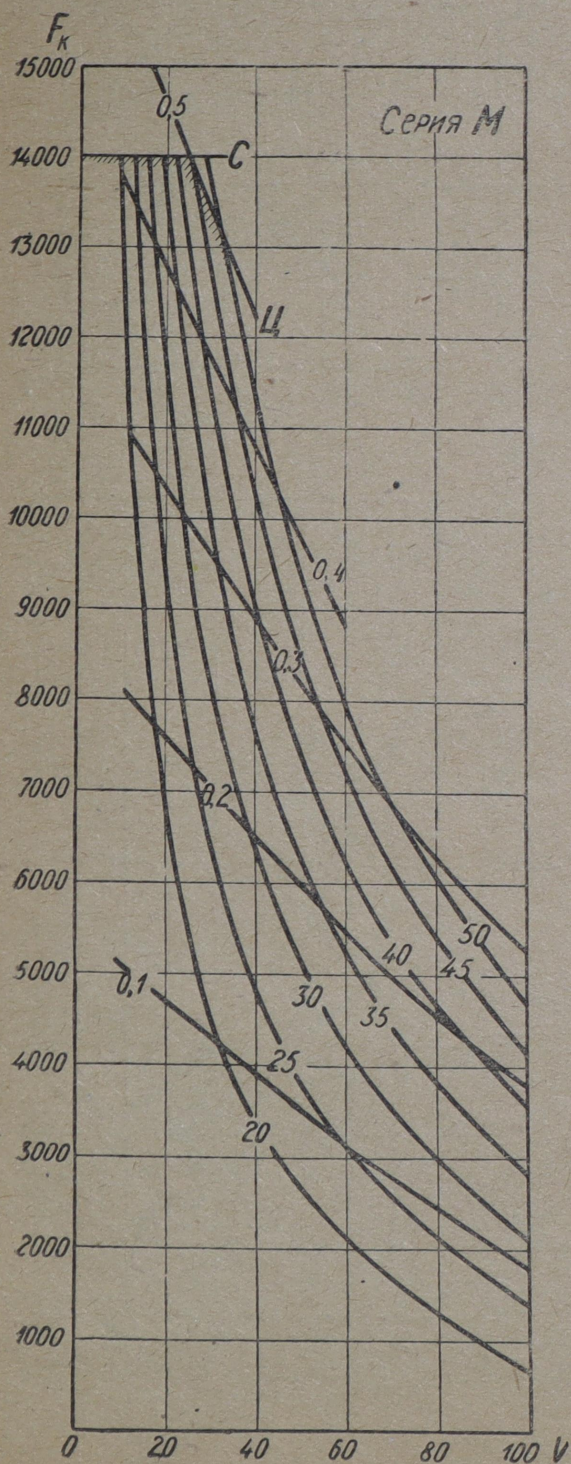


Сила тяги паровозов на ободу F_k 

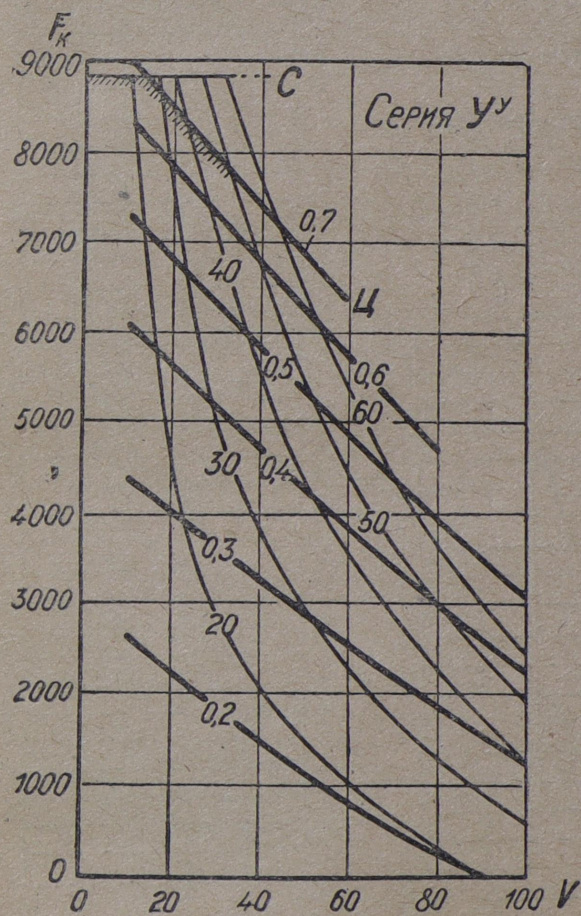
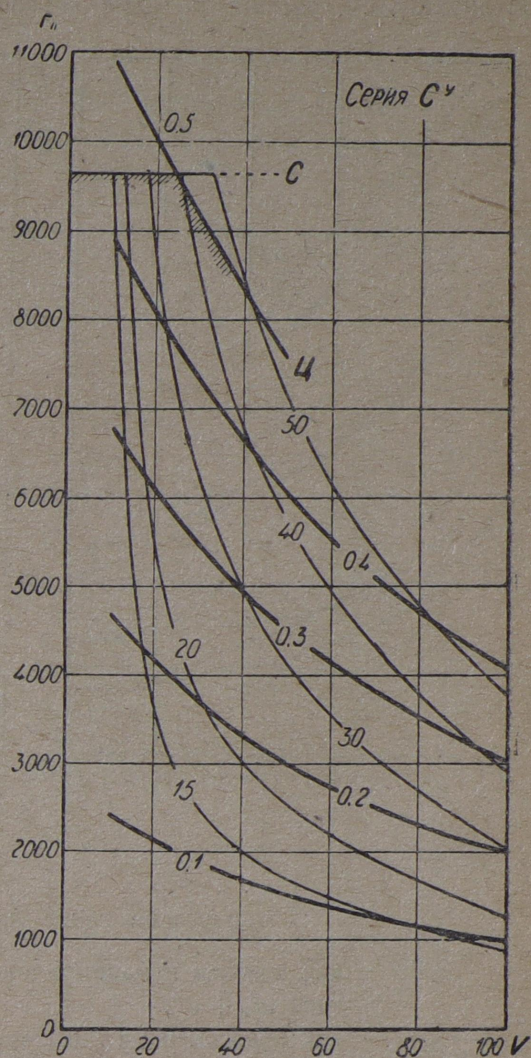
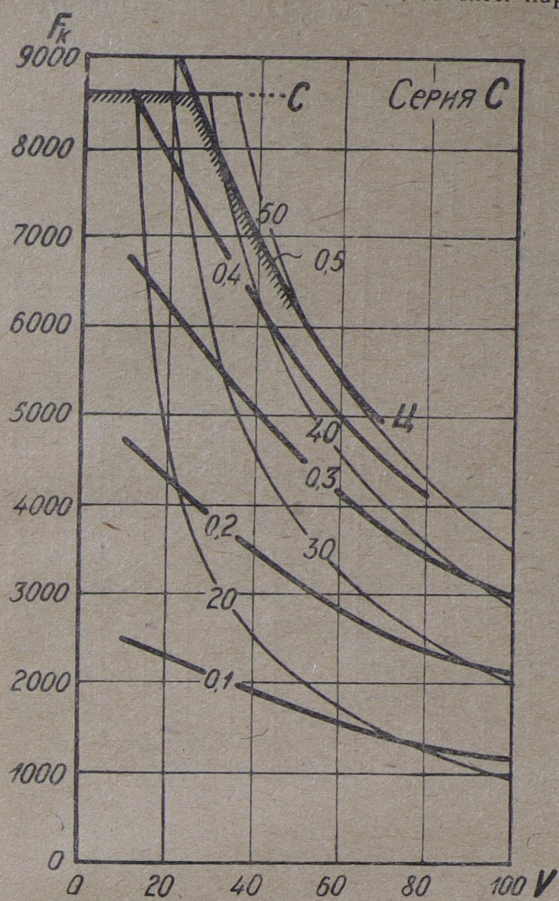
Сила тяги паровозов на ободе F_k



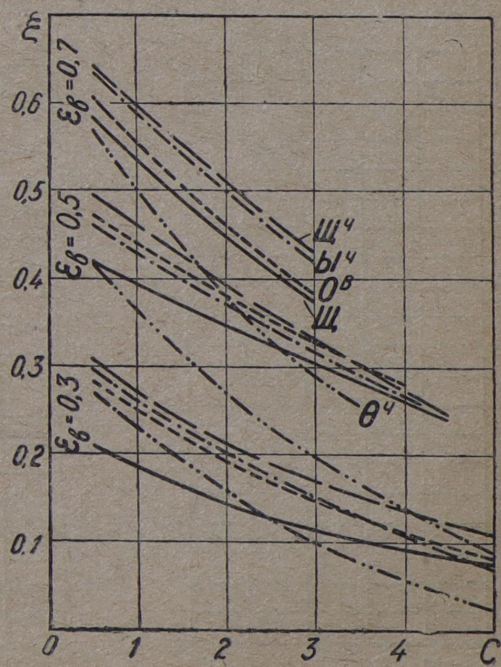
Сила тяги паровозов на ободу F_k



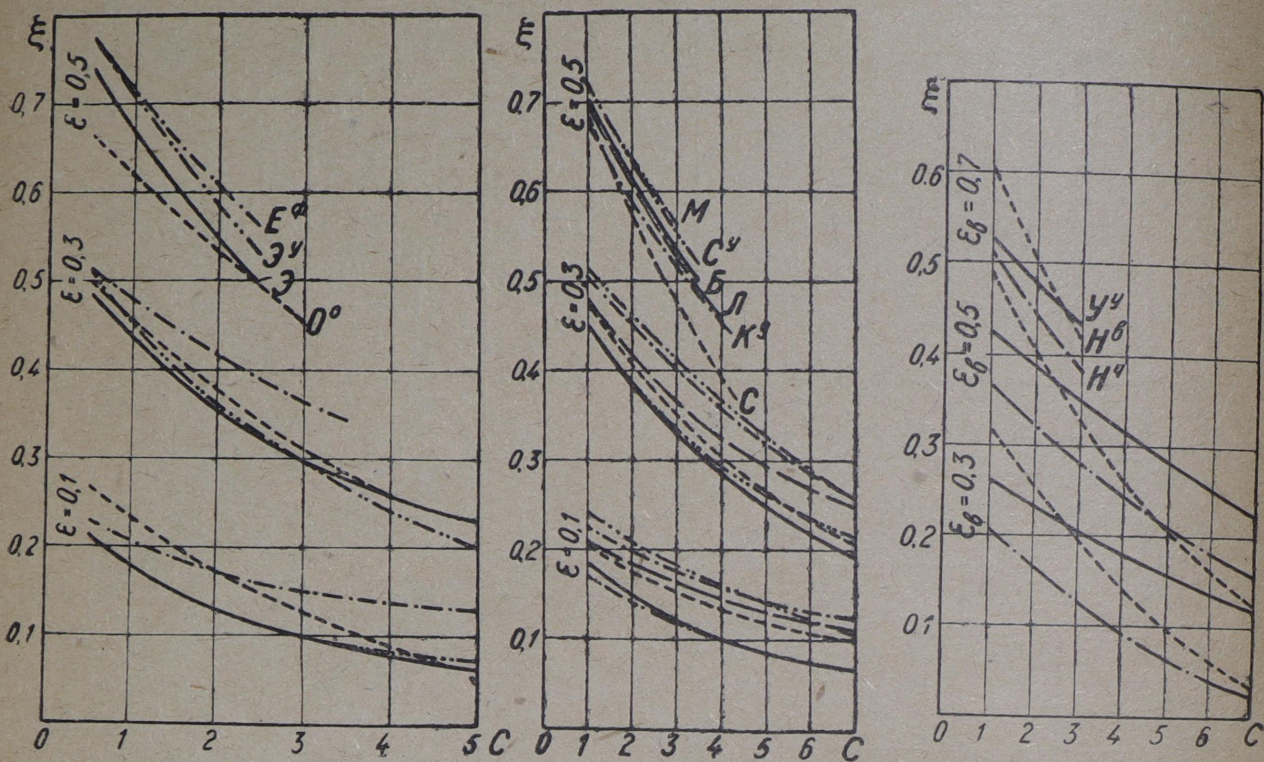
Сила тяги паровозов на ободу F_k



Индикаторный коэффициент ξ при полном открытии регулятора ($q=1$)

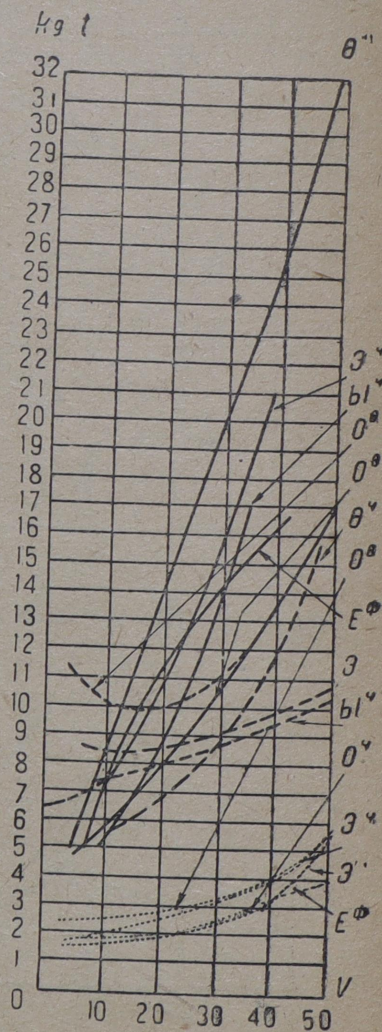
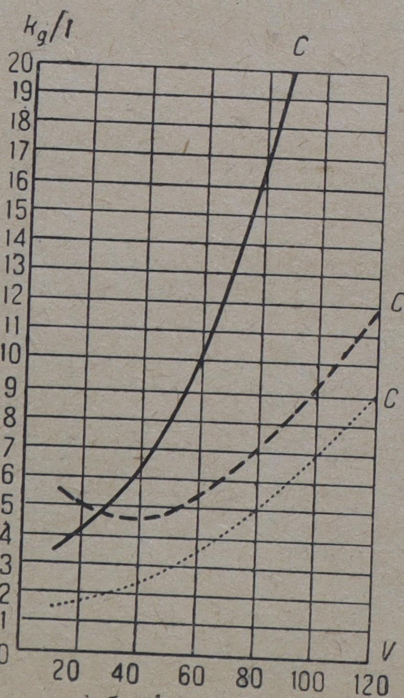
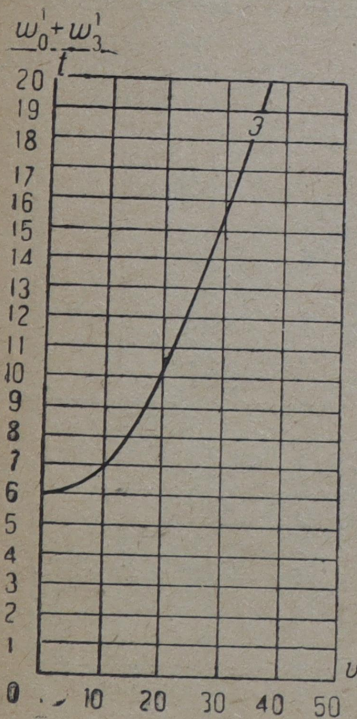


Индикаторный коэффициент ξ при вполне открытом регуляторе ($\varrho = 1$) и разных отсечках ε

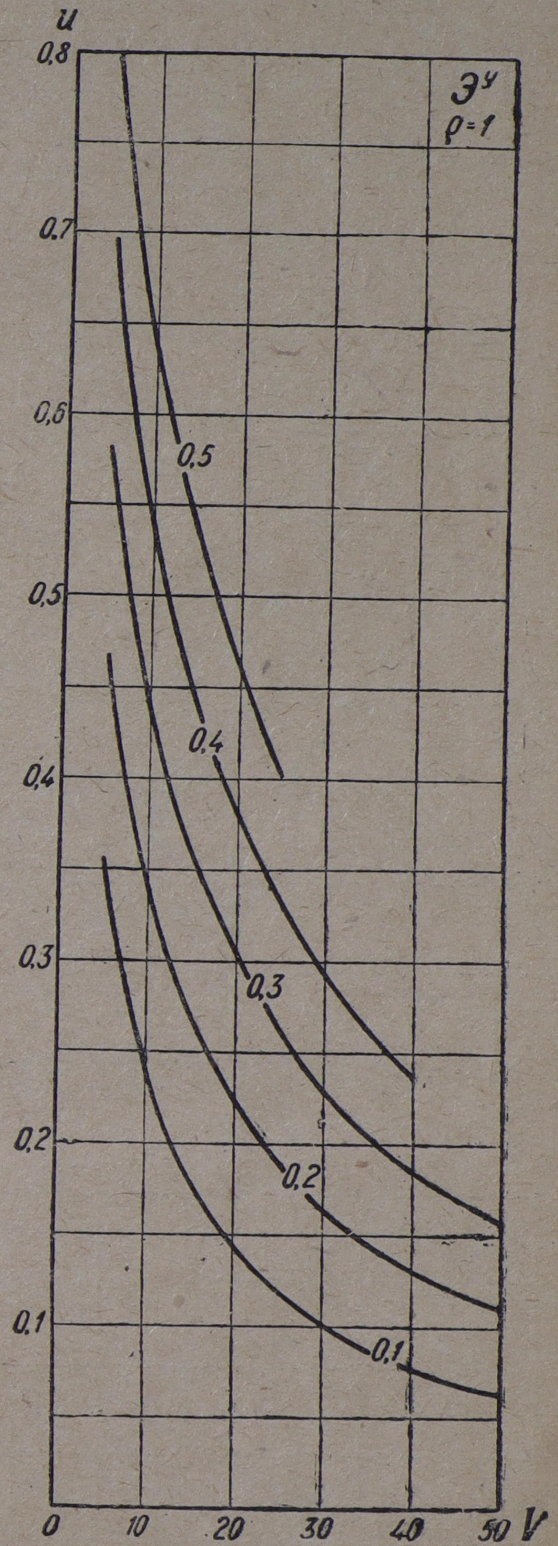
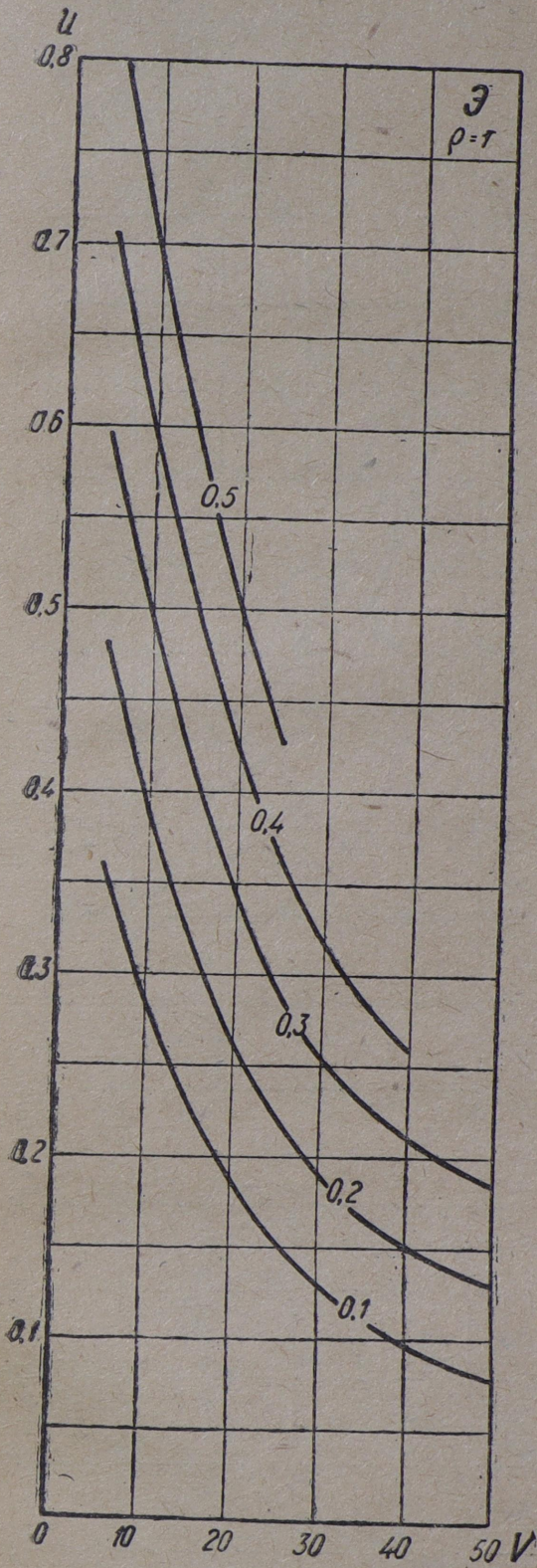


Сопротивление паровозов

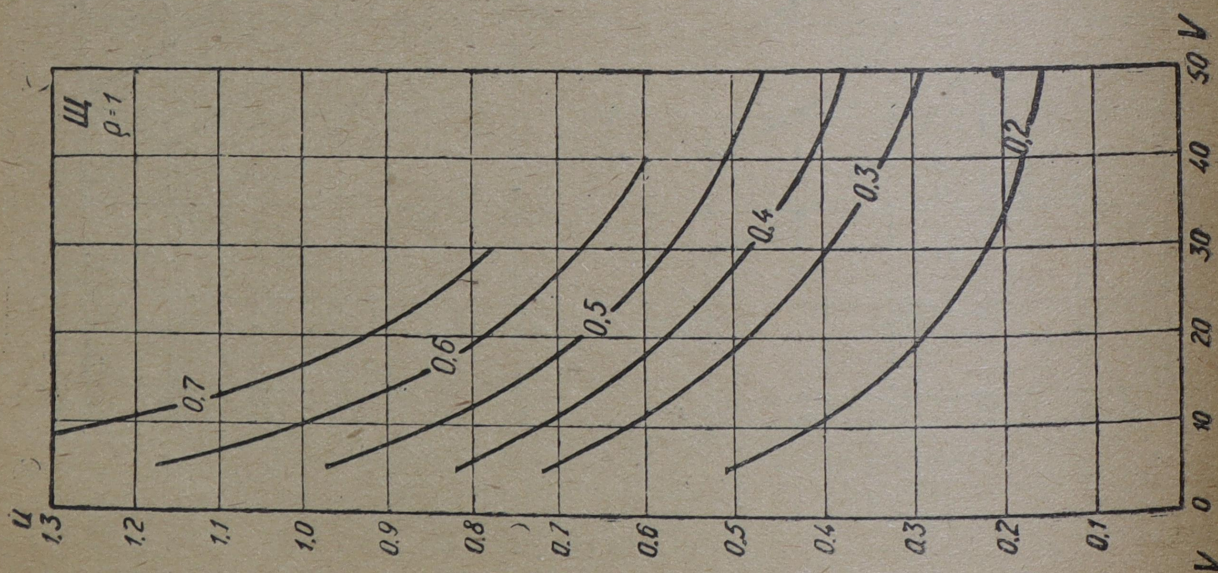
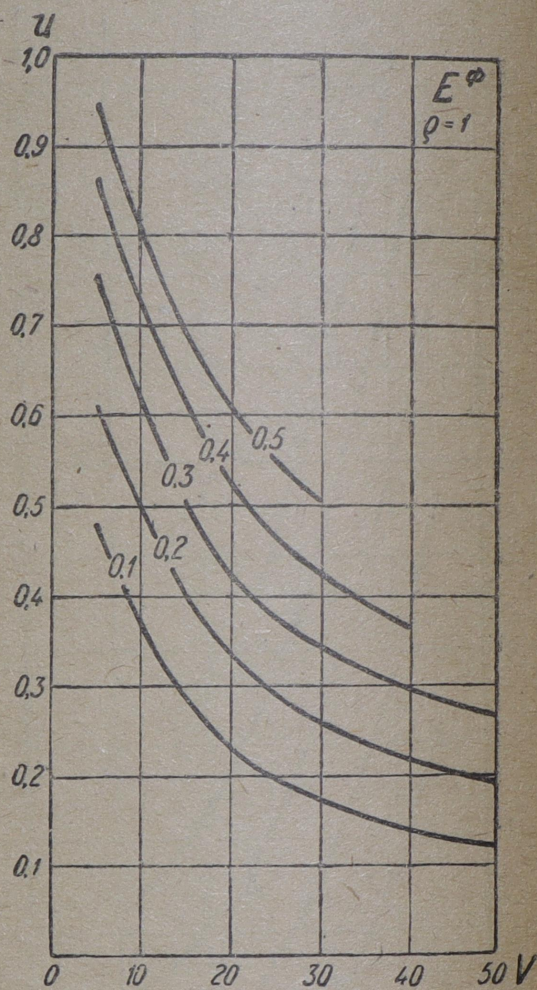
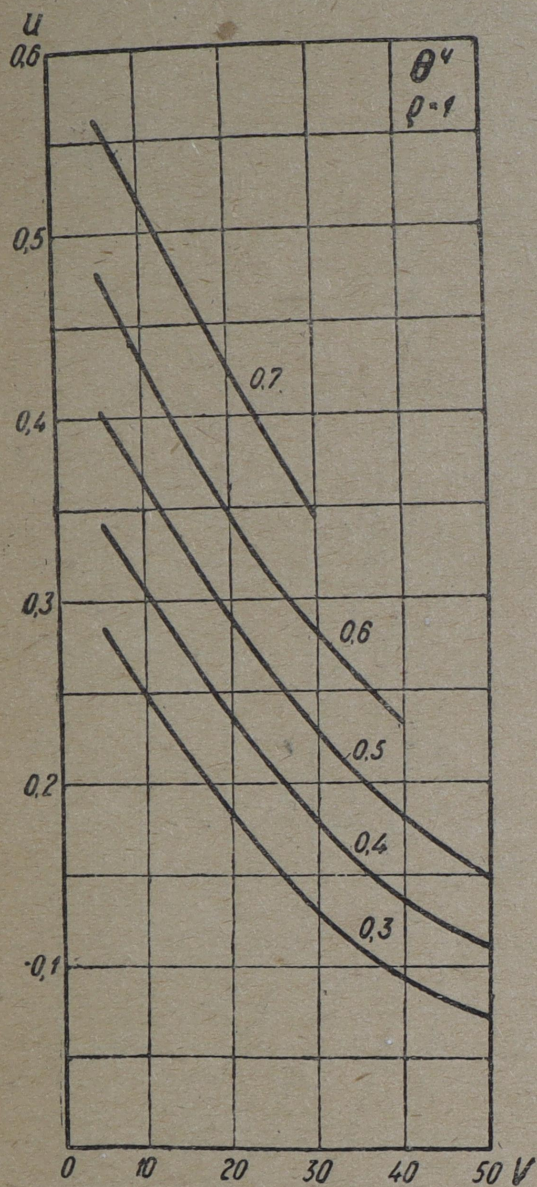
- как повозки и машины при закрытом регуляторе $w'_0 + w'_s$
- - - как повозки и машины при открытом регуляторе $w'_0 + w'_m$
- как повозки w'_0



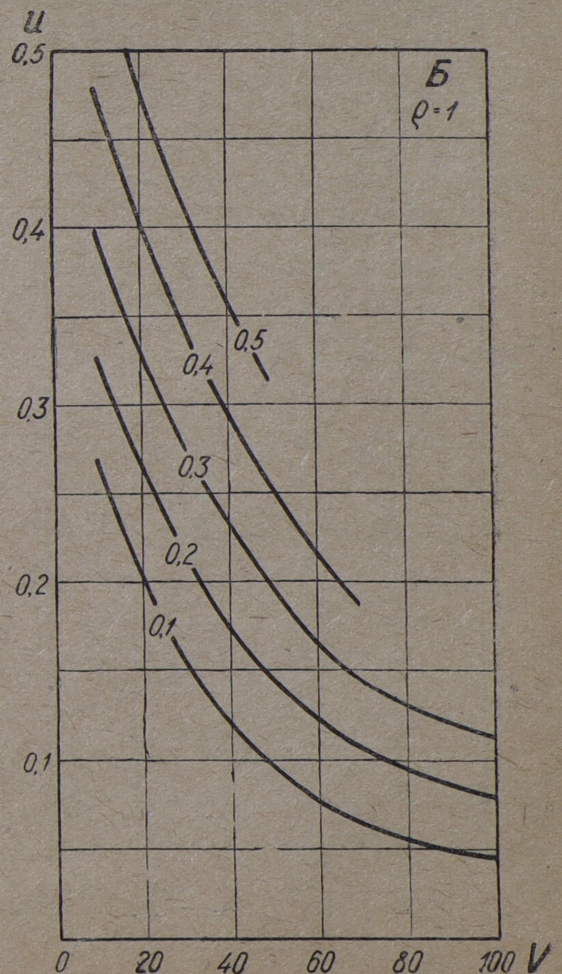
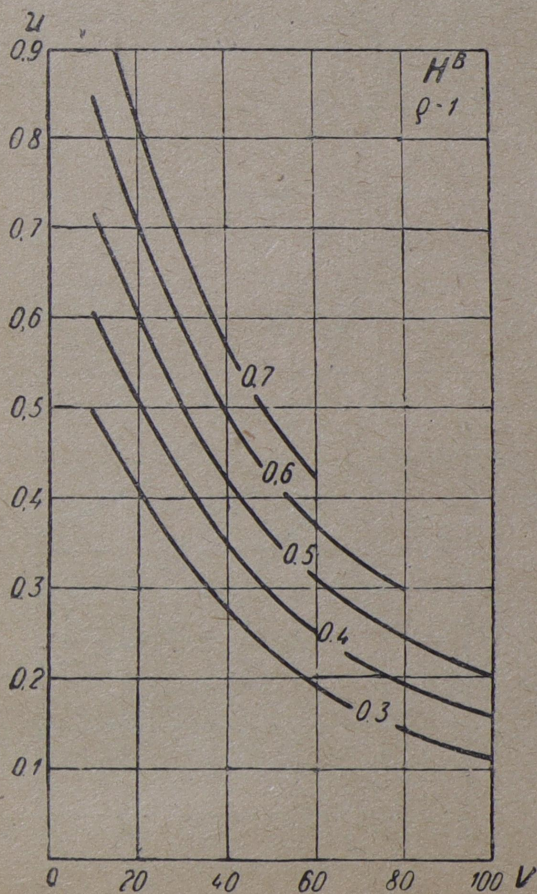
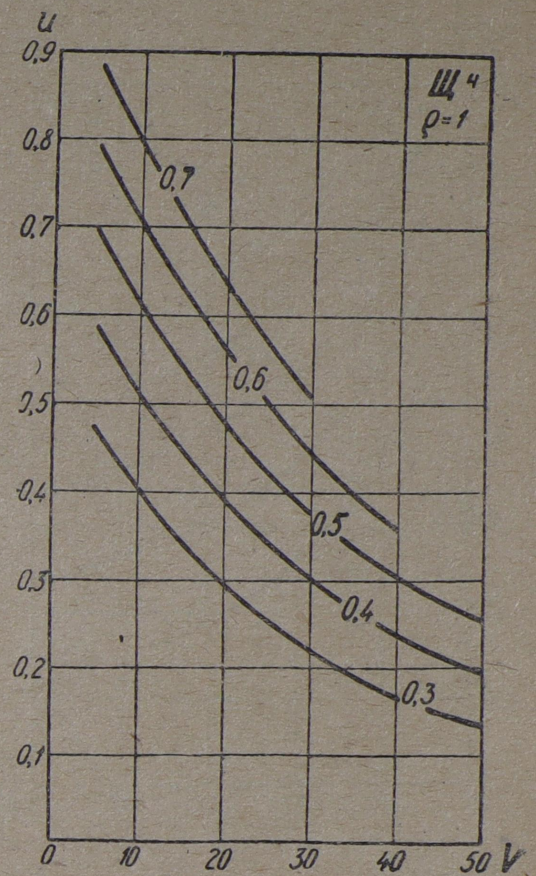
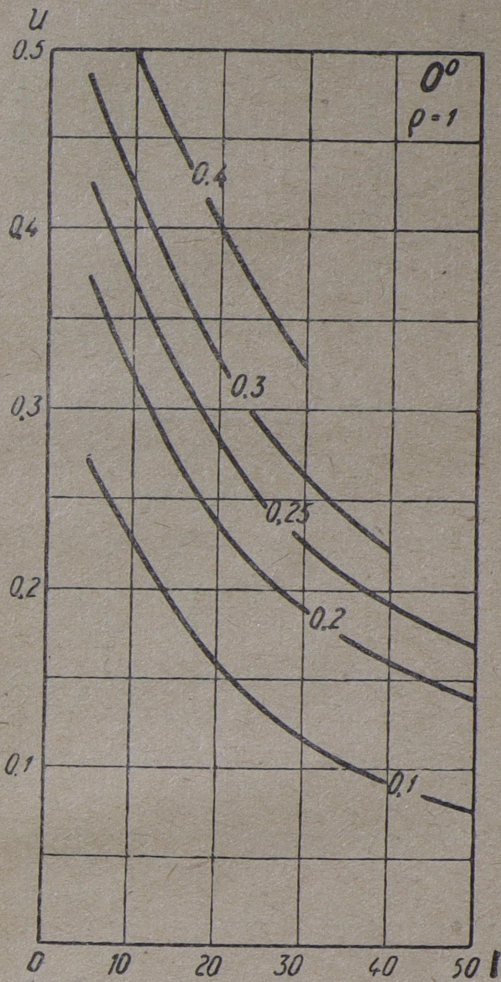
Расход пара за один ход поршня при вполне открытом регуляторе ($\rho = 1$)
при разных отсечках ε



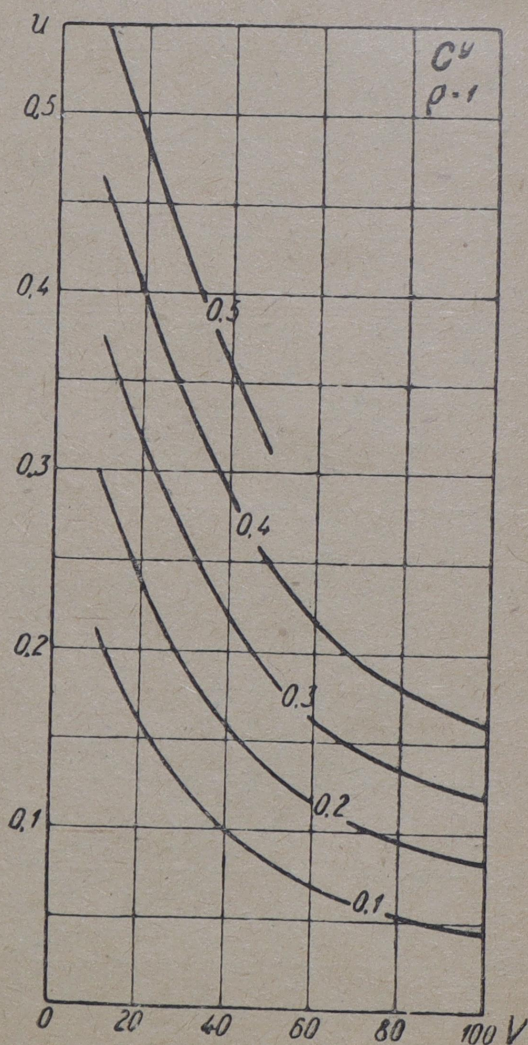
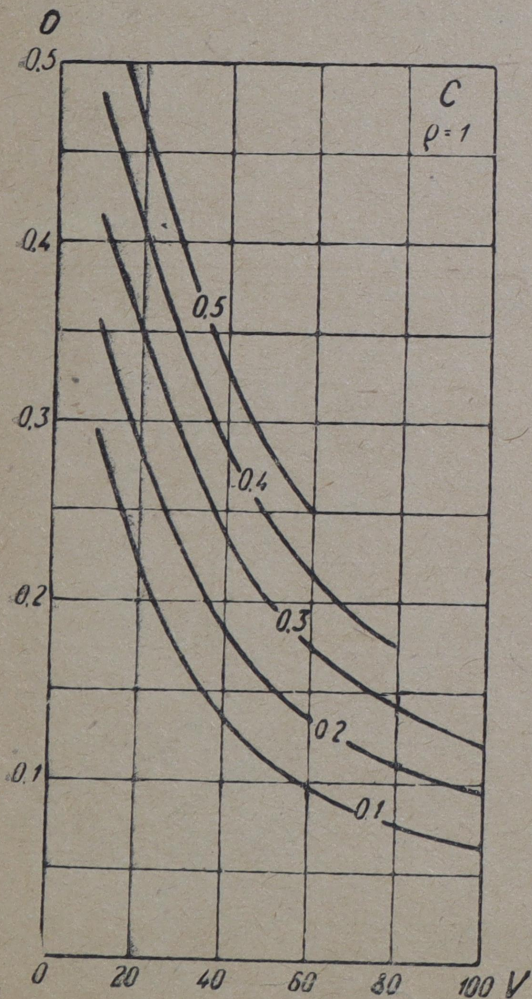
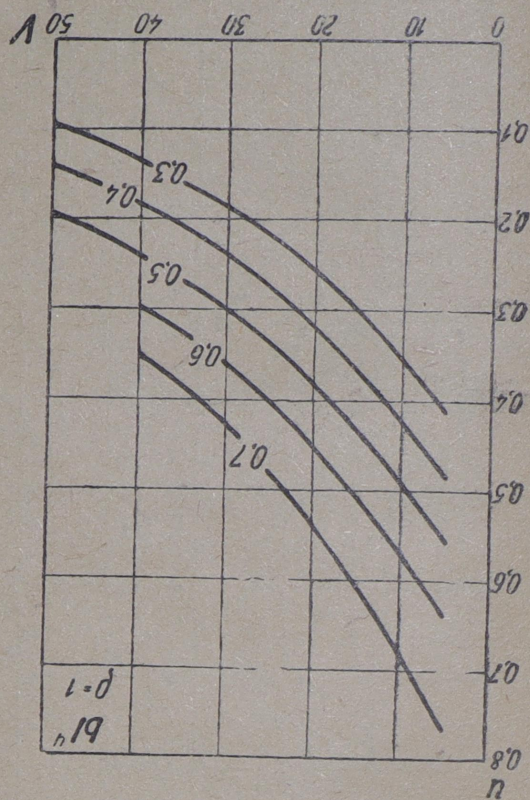
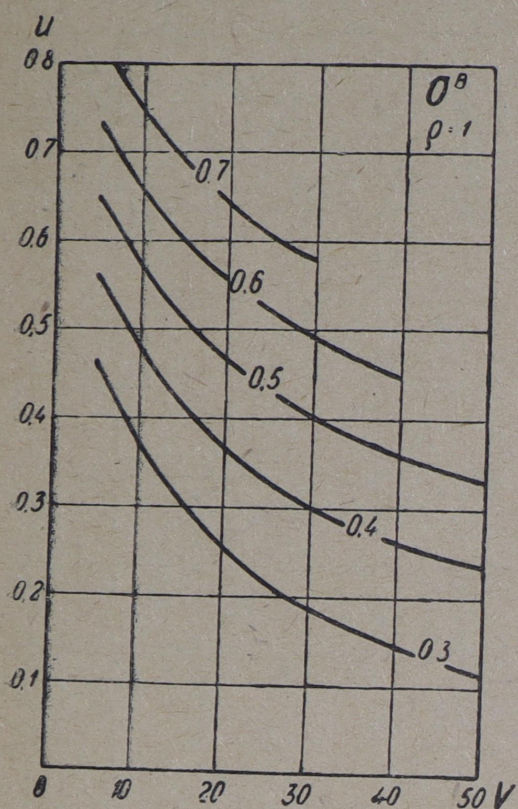
Расход пара за один ход поршня при вполне открытом регуляторе ($q = 1$),
при различных отсечках ε



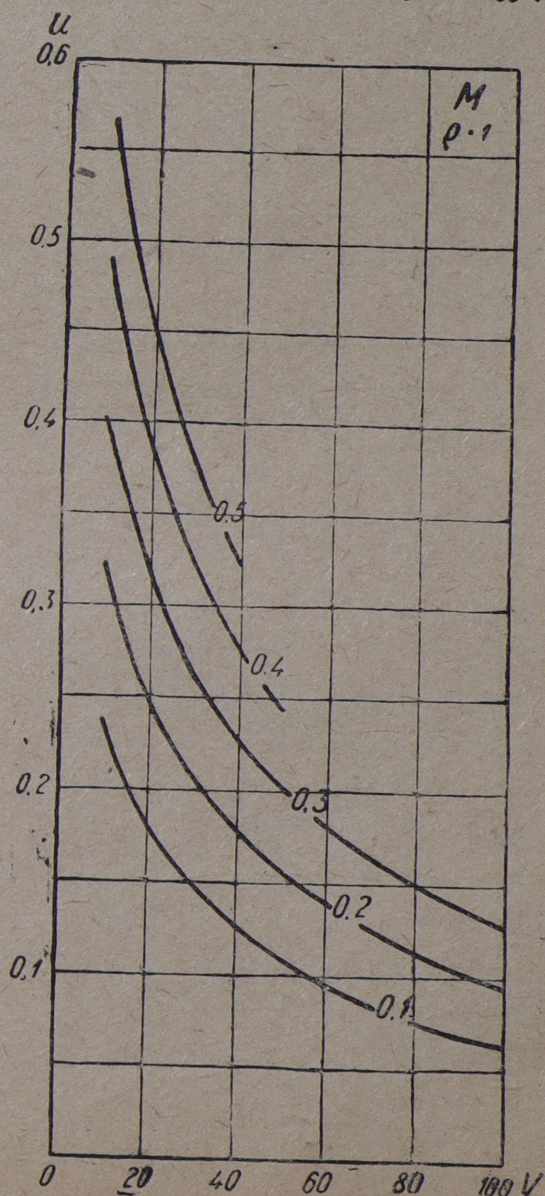
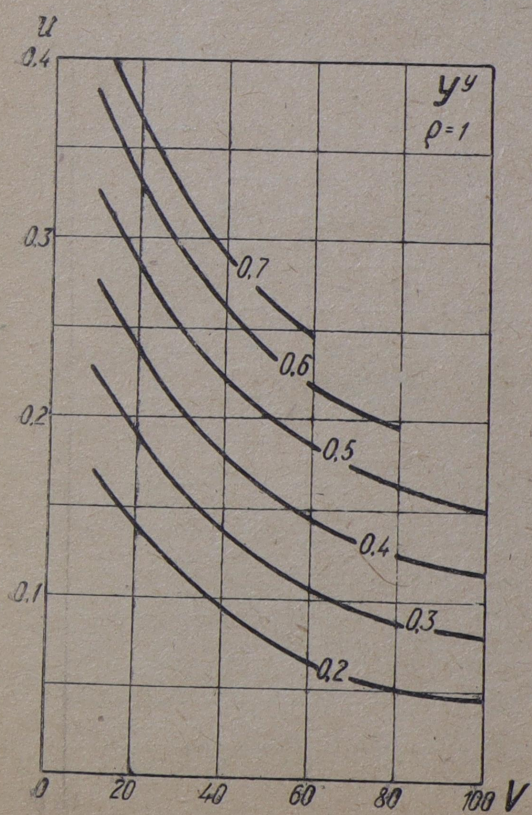
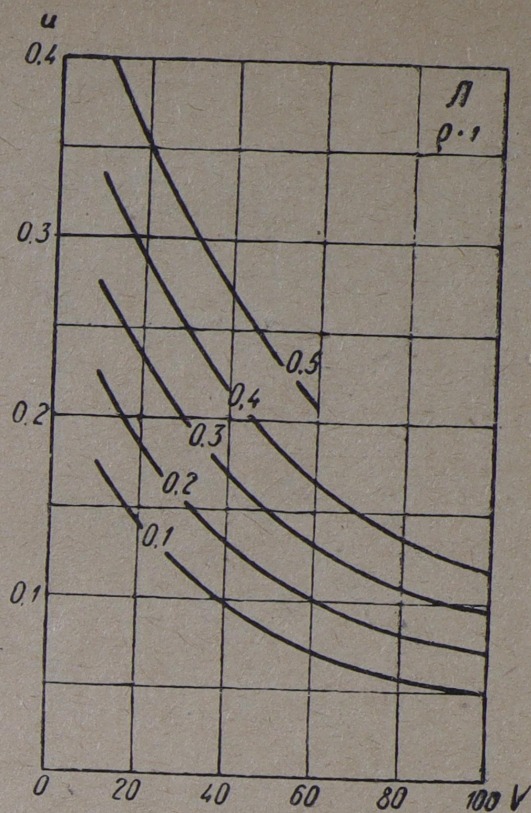
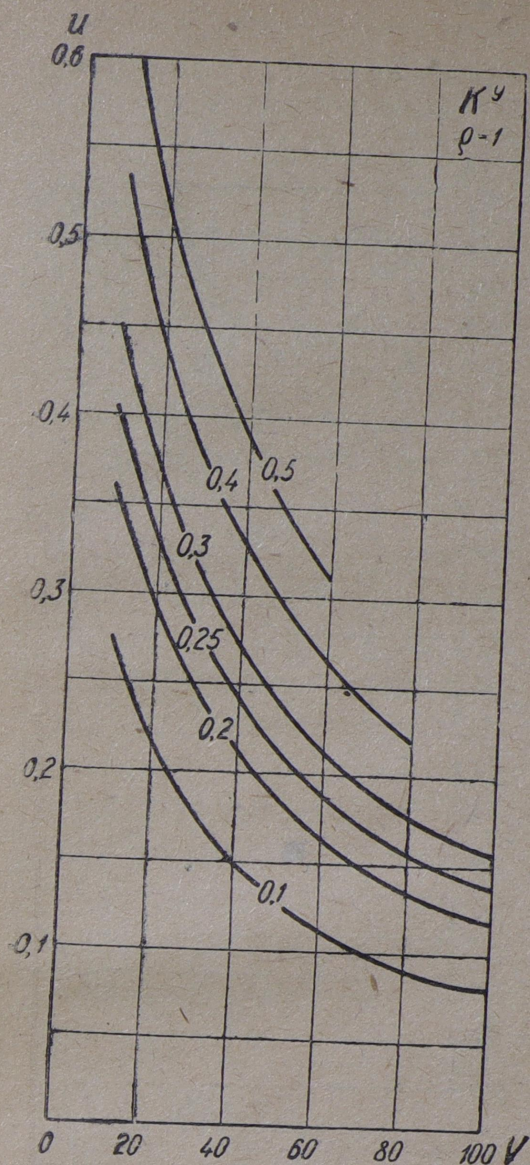
Расход пара за один ход поршня при вполне открытии регулятора ($\varrho = 1$),
при различных отсечках ε



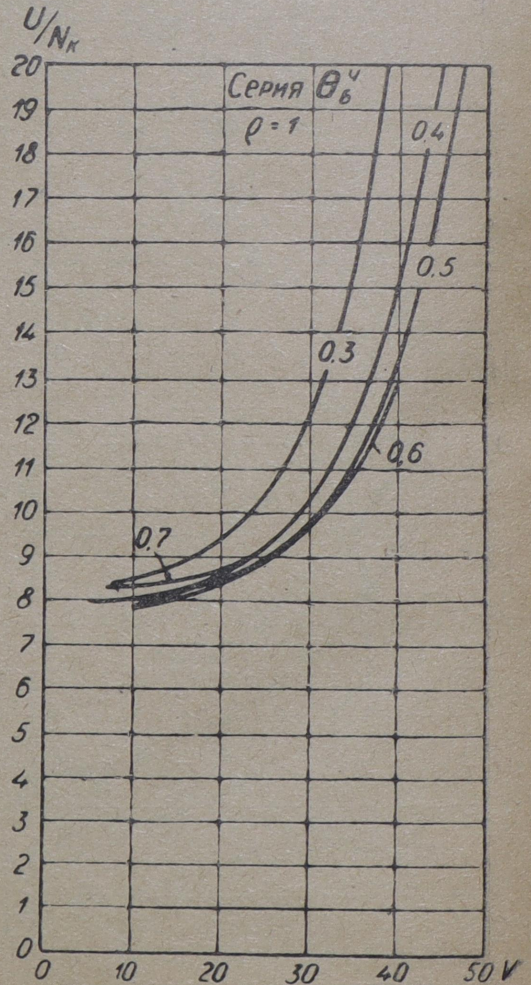
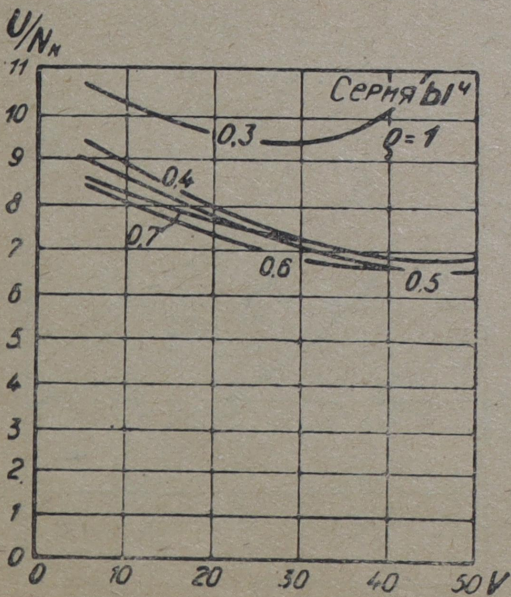
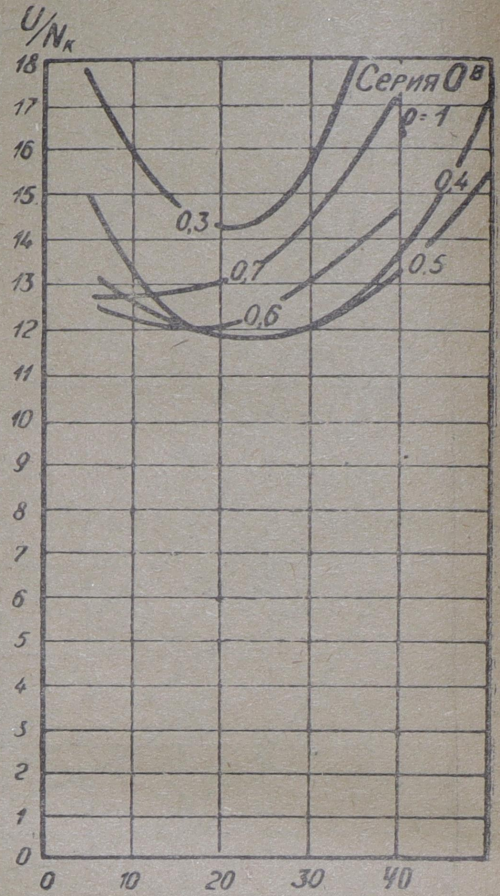
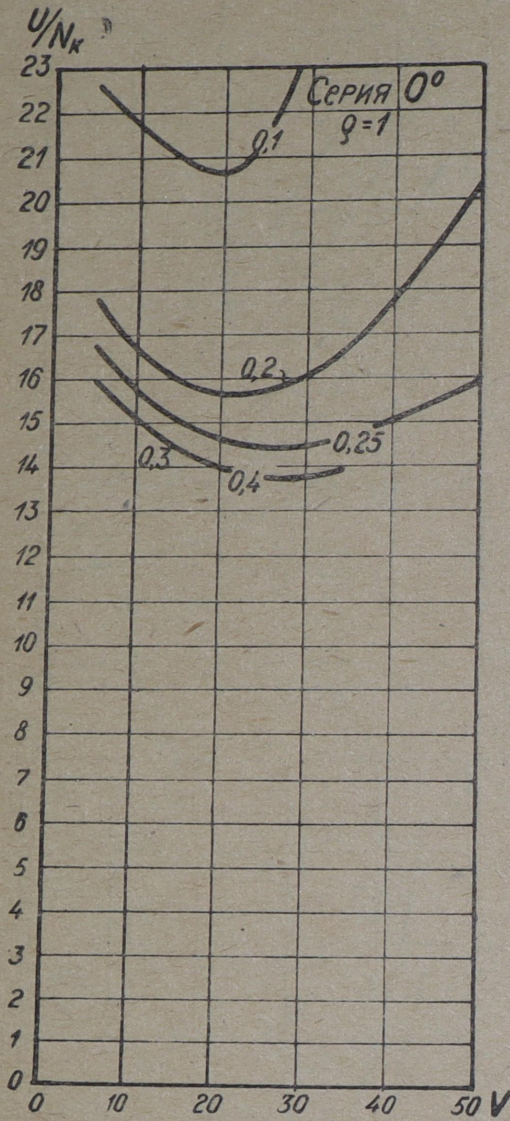
Расход пара за один ход поршня при вполне открытом регуляторе ($q = 1$),
при различных отсечках ε



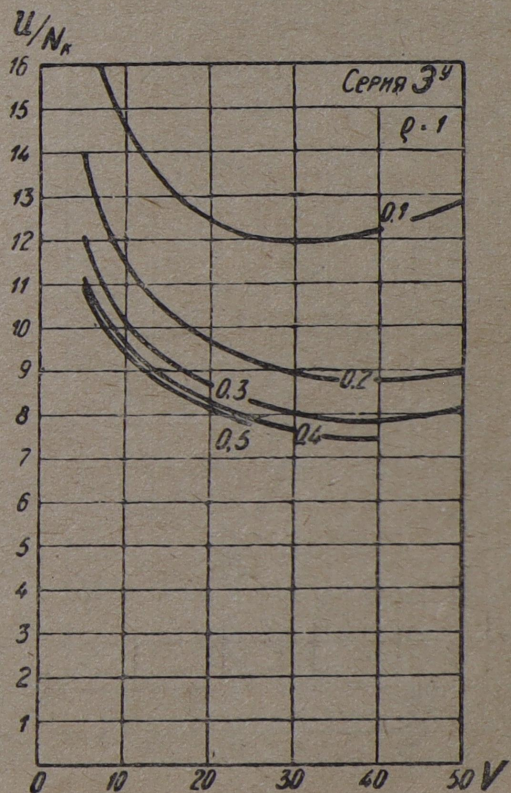
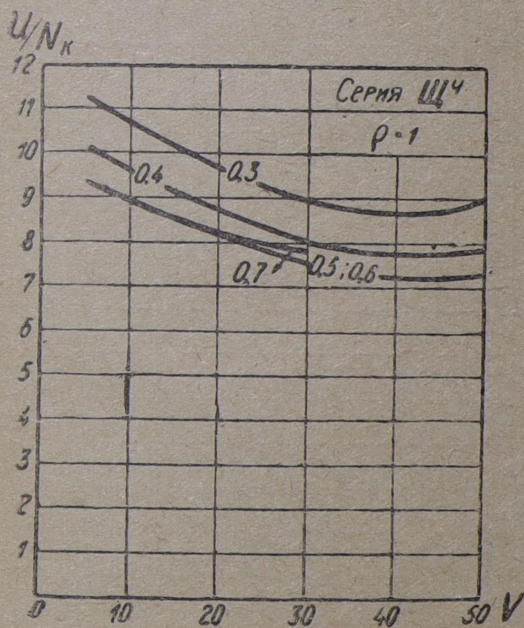
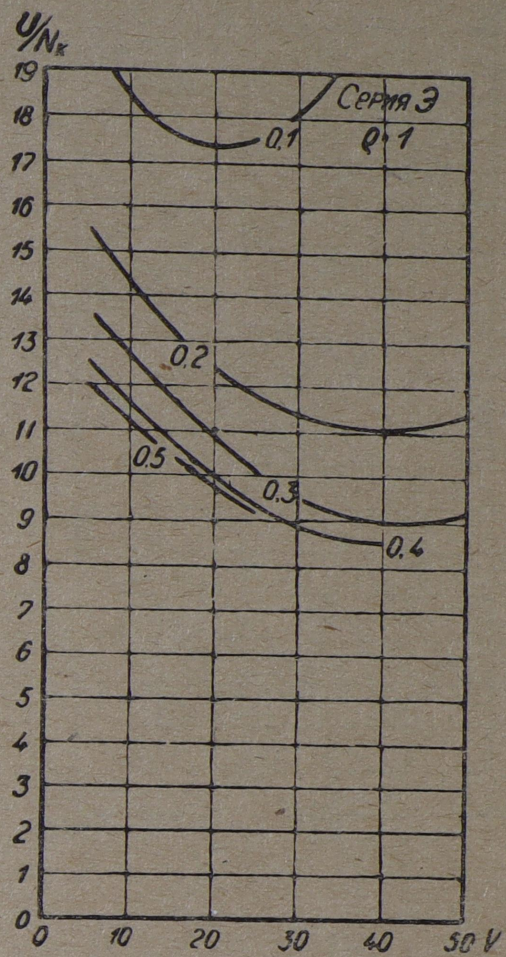
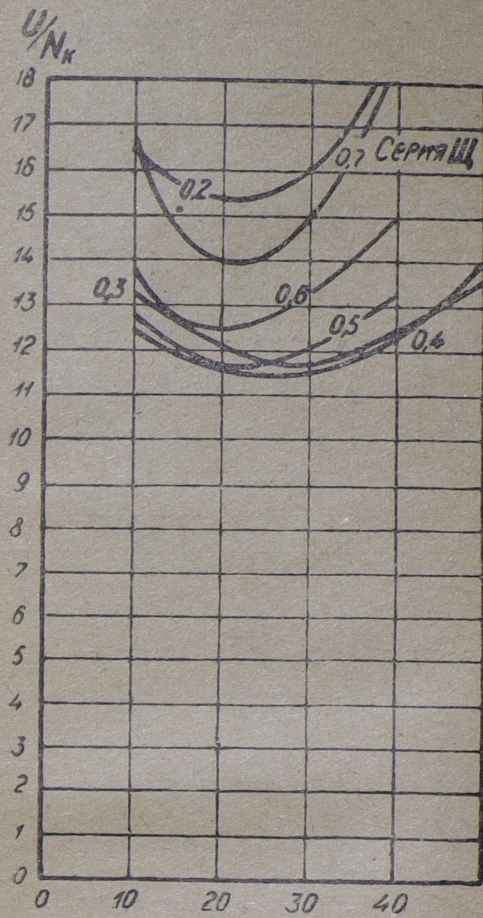
Расход пара за один ход поршня при вполне открытом регуляторе ($\rho = 1$), при различных отсечках ε



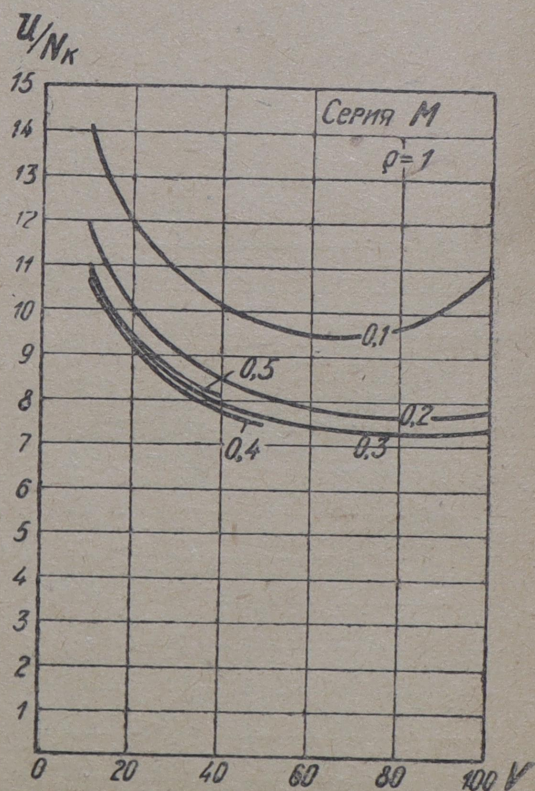
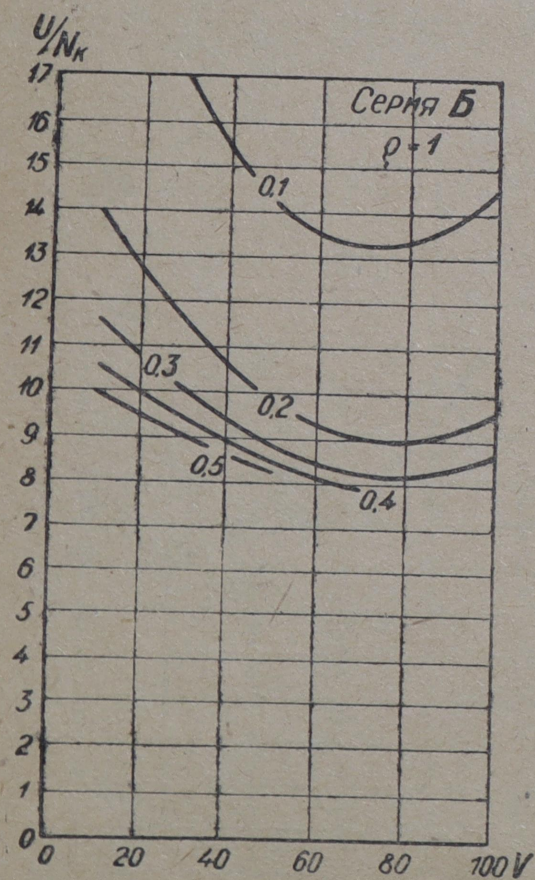
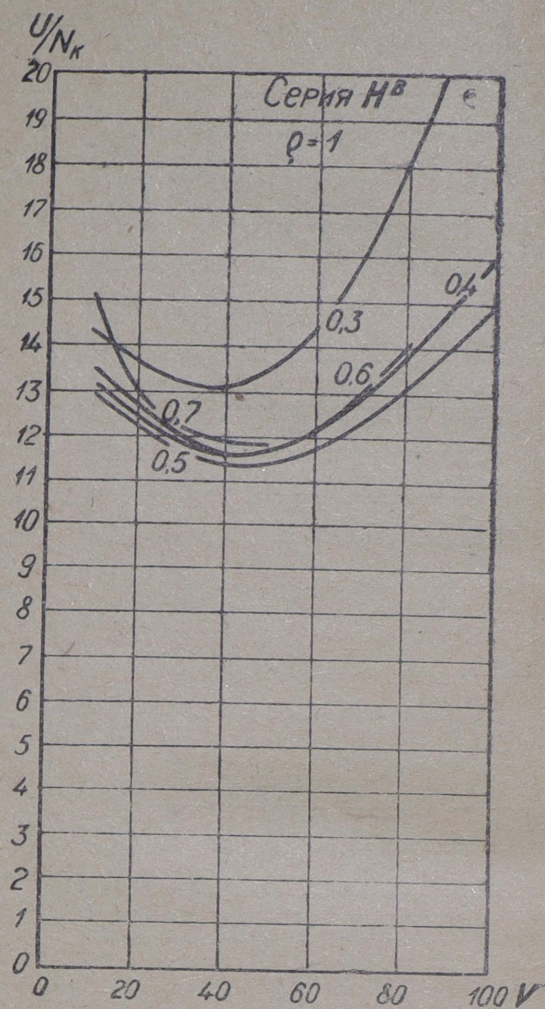
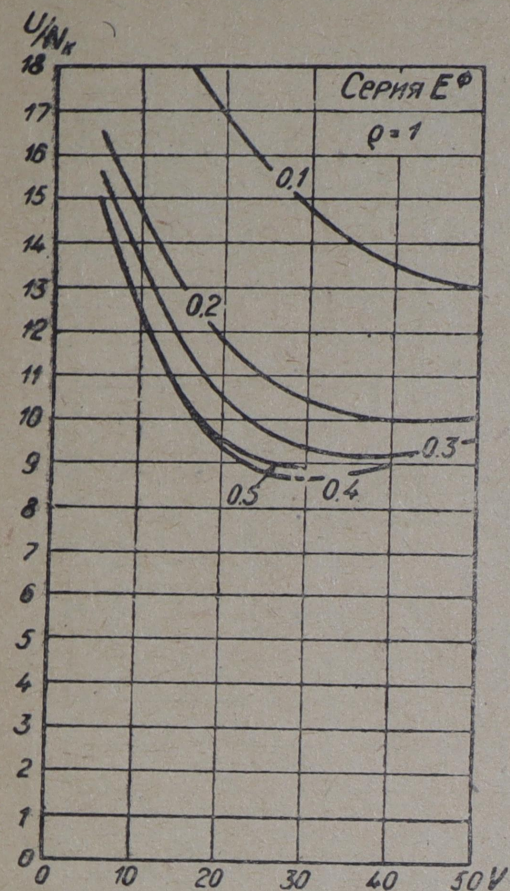
Расход пара на одну лошадиную силу в час при вполне открытом регуляторе ($\rho = 1$)
и при различных отсечках ε



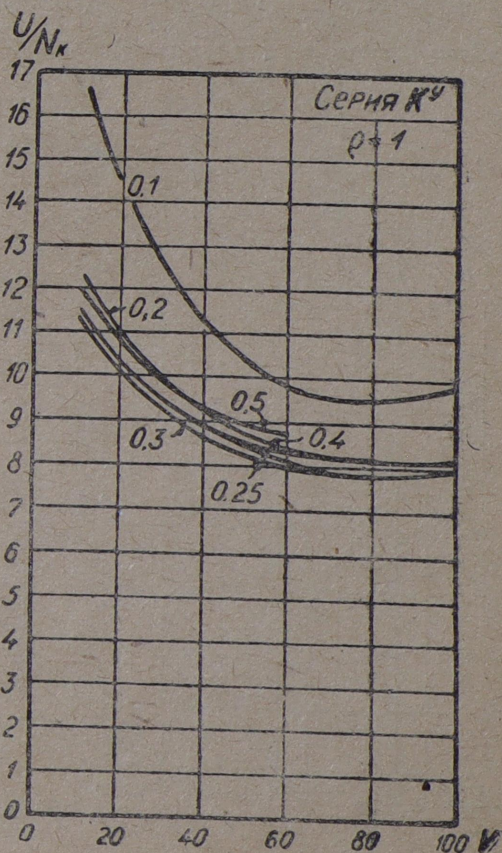
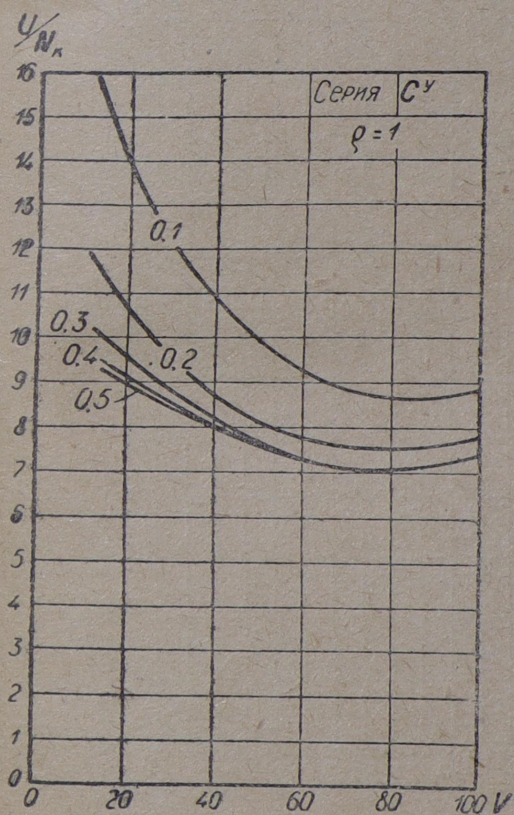
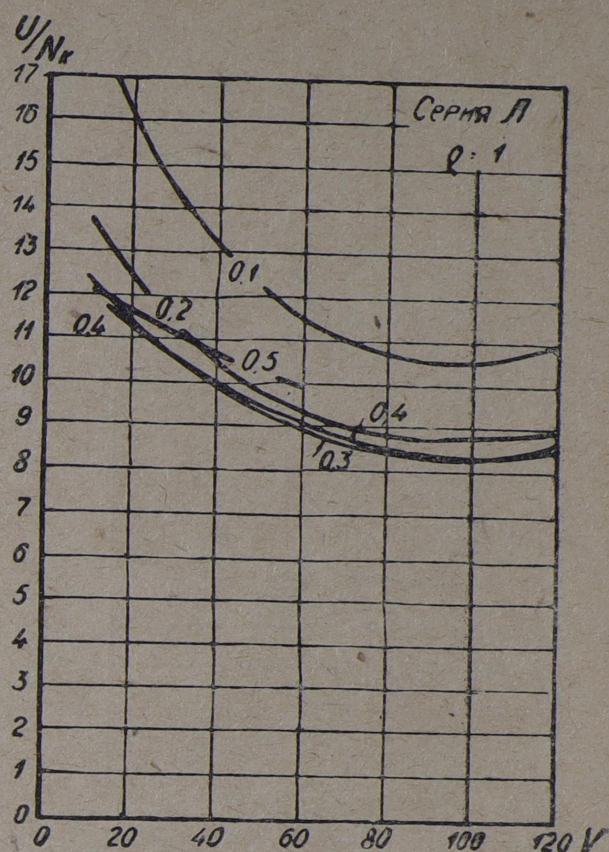
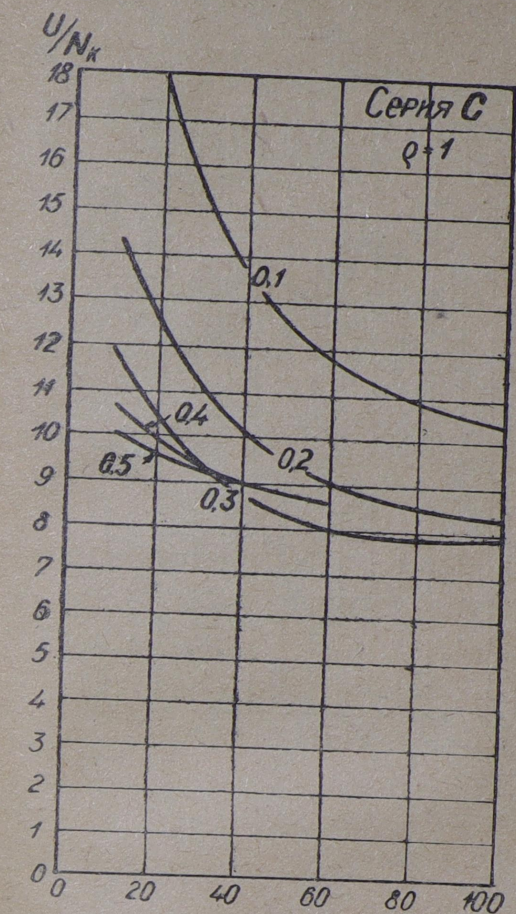
Расход пара на одну лошадиную силу в час при вполне открытом регуляторе ($\rho = 1$) и при различных отсечках ε



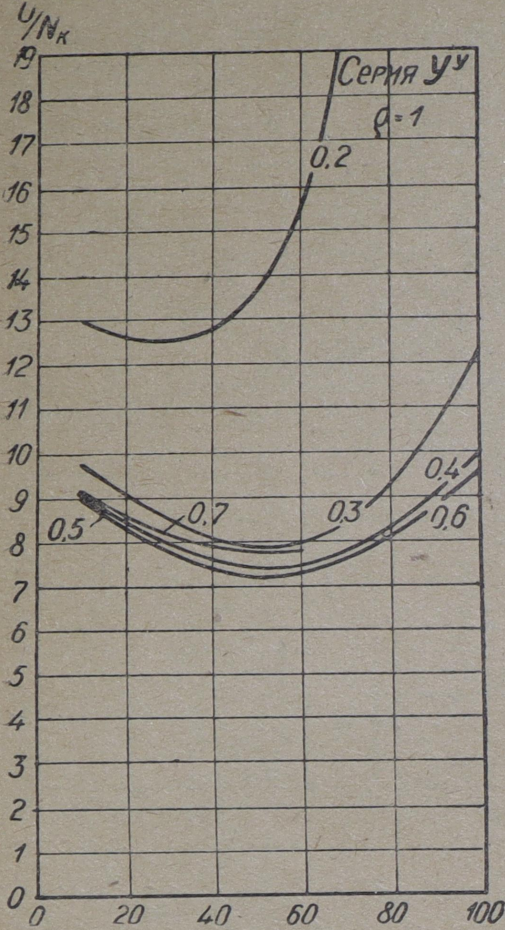
Расход пара на одну лошадиную силу в час при вполне открытом регуляторе ($\rho = 1$)
и при разных отсечках ϵ



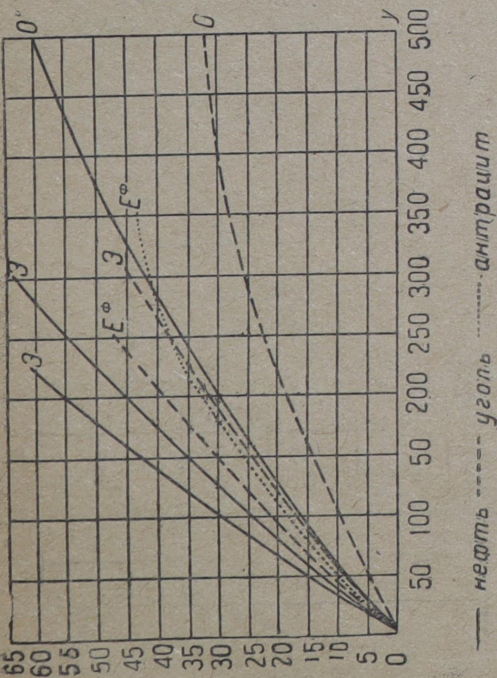
Расход пара на одну лошадиную силу в час при вполне открытом регуляторе ($\rho = 1$) и при разных отсечках ε



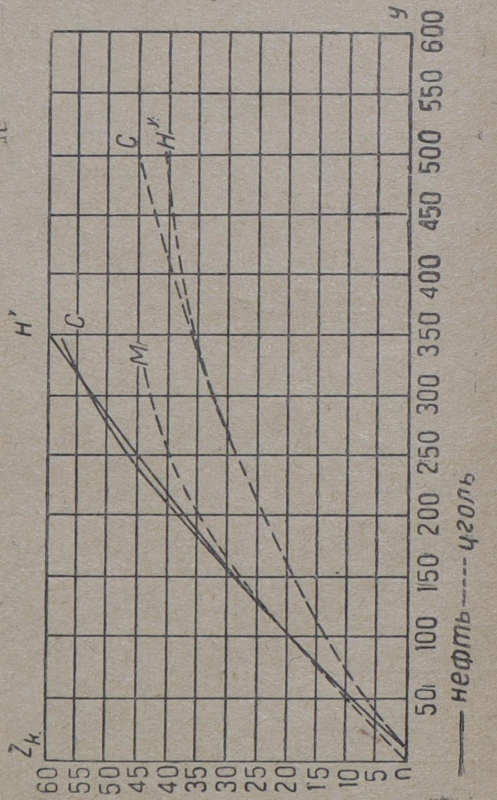
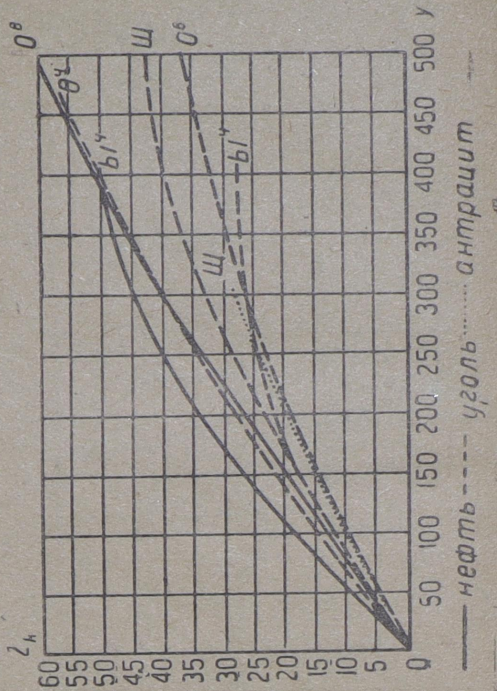
Расход пара на одну лошадиную силу в час при вполне открытом регуляторе ($q = 1$) и разных отсечках ε



Зависимость между интенсивностью горения y и интенсивностью парообразования z

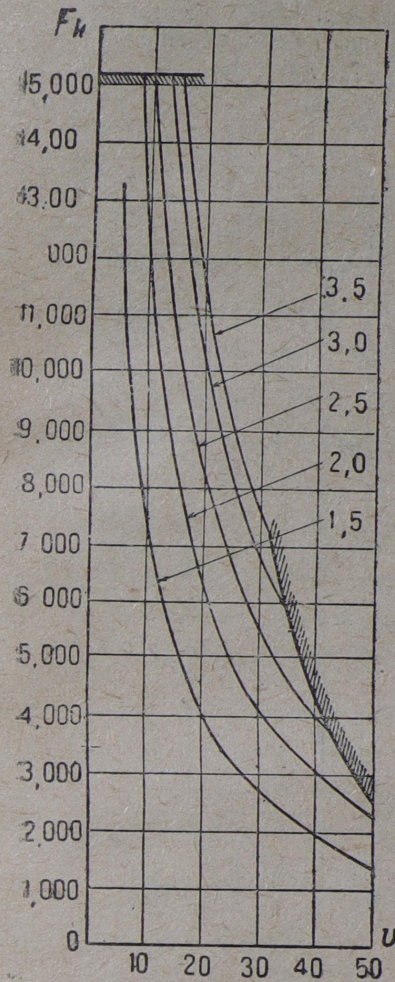


Зависимость между интенсивностью горения y и интенсивностью парообразования z



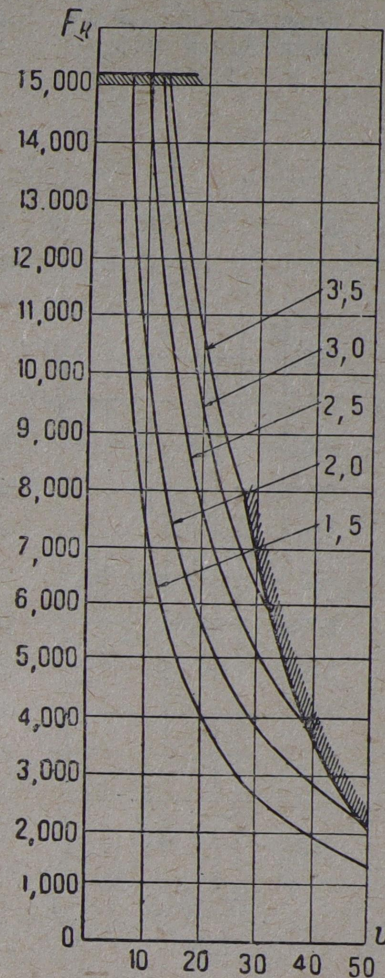
Сила тяги на ободу при различной подаче топлива, различных скоростях и числе оборотов двигателя тепловоза Э—Эл—2.

$$F_k = f(v, \sigma)$$



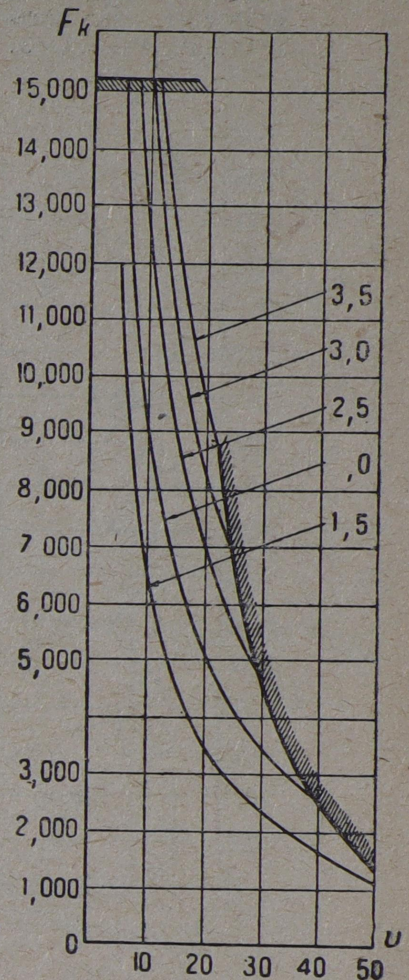
$n = 330$

Сила тяги на ободу при раз-
ной подаче топли а и раз-
личных скоростях тепловоза
Э—МХ—3.



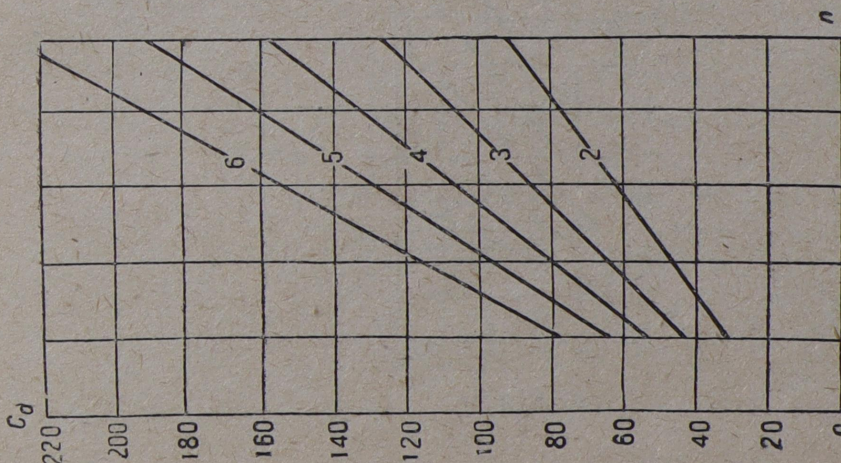
$n = 300$

Сила тяги и коэффициент
полезного действия на ободу
колес тепловоза Э—МХ—3
при наибольшей форсировке.



$n = 270$

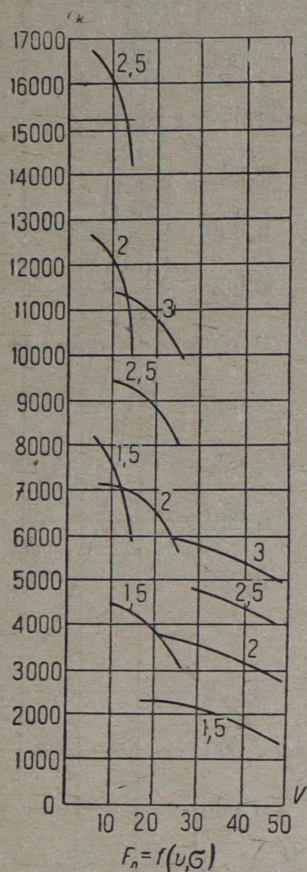
Сила тяги и коэффициент
полезного действия на ободу
колес тепловоза Э—МХ—3
при наивыгоднейшей регу-
лировке.



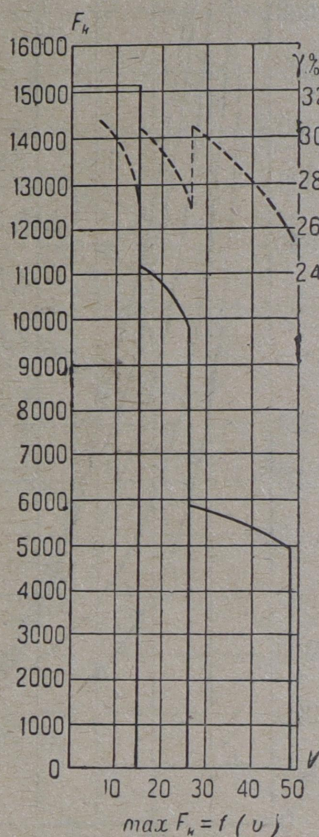
$$C_d = J(\varepsilon \cdot n)$$

Часовой расход топлива главного дви-
гателя тепловоза Э—Эл—2.

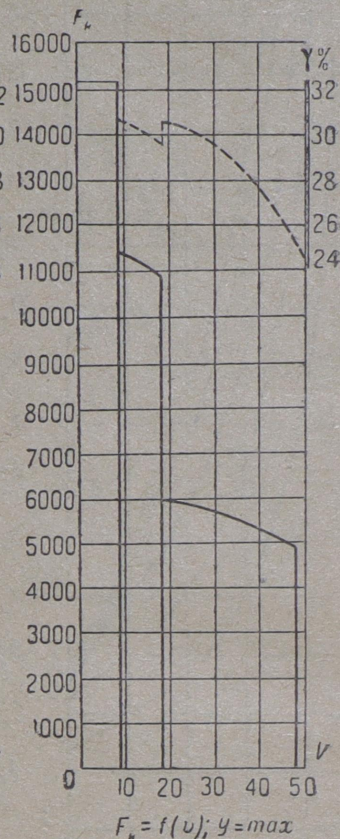
Сила тяги на ободе колес при разной подаче топлива и различных скоростях двигателя тепловоза Э—МХ—3.



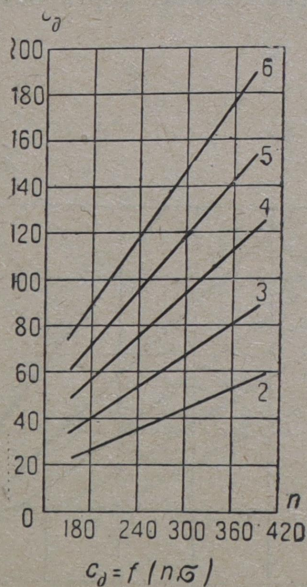
Сила тяги на ободе колес и коэффициент полезного действия тепловоза Э—МХ—3 при наибольшей форсировке.



Сила тяги на ободе колес и коэффициент полезного действия тепловоза Э—МХ—3 при наивыгоднейшей регулировке.



Часовой расход топлива главного двигателя тепловоза Э—МХ—3.



ТЯГОВАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА ЭЛЕКТРОВОЗА
с нанесением кривых полного и ослабленного поля для
напряжения 3000 В

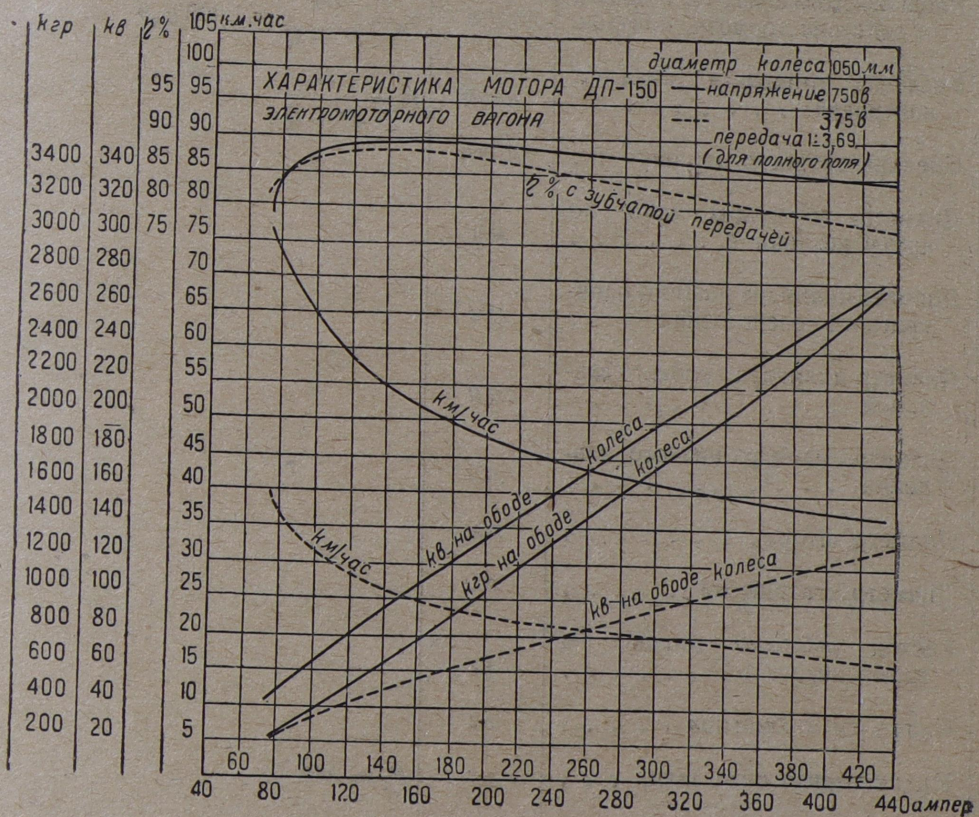
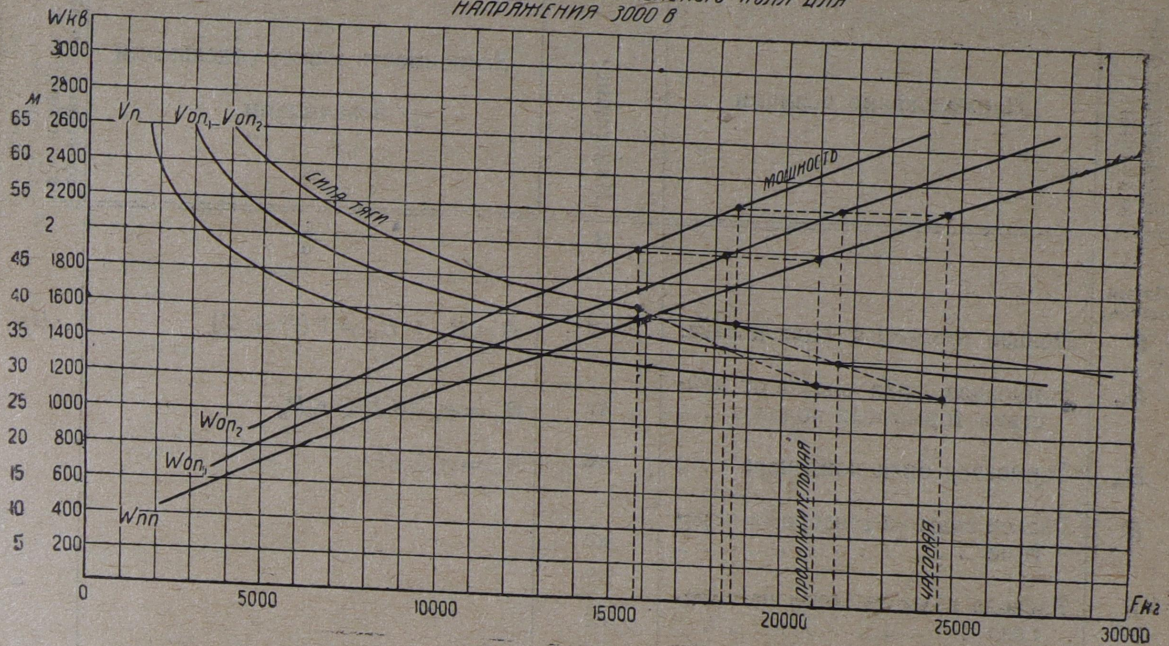


ТАБЛИЦА УСЛОВНОГО ОБОЗНАЧЕНИЯ ОСНОВНЫХ ВЕЛИЧИН

Буквенные обозначения	Наименование величин	Измерение	Зависимость между отдельными величинами	Буквенные обозначения некоторых величин, принятые в настоящей литературе
1	2	3	4	5
Латин. алфав.				
B	Полная тормозная сила поезда.	кг	$B = B_k + B_n = b(P + Q)$	B
B_k	Тормозная сила поезда от действия тормозных колодок . .	кг	$B_k = \varphi_k \Sigma \delta \Pi \leq \varphi_k P_k$	
B_n	Тормозная сила контрпара . .	кг	$B_n = \eta_n \xi_n M$	
B	Расход воды из тендера на перегоне	кг		
B_k	Расхода воды из котла на перегоне	кг		
B_m	Расход пара машиной на перегоне	кг		
b	Удельная тормозная сила поезда.	кг/т	$b = \frac{B}{P + Q}$	
b_k	Удельная тормозная сила поезда от действия тормозн. колодок.	кг/т	$b_k = \frac{B_k}{P + Q} = 1\,000 \varphi_k g$	
b_n	Удельная тормозная сила от контрпара	кг/т	$b_n = \frac{B_n}{P + Q}$	
c	Средняя скорость поршня . .	м/сек.		
D	Диаметр движущих колес по кругу катания	мм		D
d	Диаметр цилиндра машины однократного расширения . . .	мм		d
d_θ	Диаметр цилиндра высокого давления	мм		
d_n	Диаметр цилиндра низкого давления	мм		
$d_{ш}$	Диаметр штока	мм		
$d_{кш}$	Диаметр контрштока	мм		
E	Расход рабочего топлива на перегоне	кг		
F	Сила тяги локомотива	кг		Z
F_i	Индикаторная сила тяги . . .	кг	$F_i = M \xi$	
F_k	Касательная сила тяги . . .	кг	$F_k = M \xi \eta_m = F_i - w_m P$	
F_n	Сила тяги на крюке (полезная).	кг	$F_n = F_i - (w_0' + w_m + i_k) P$	

Буквенные обозначения	Наименование величин	Измерения	Зависимость между отдельными величинами	Буквенные обозначения некоторых величин, принятые в настоящей литературе
1	2	3	4	
f	Удельная сила тяги локомотива	кг/т	$f = \frac{F}{P + Q}$	
f_i	Удельная индикаторная сила тяги	кг/т	$f_i = \frac{F_i}{P + Q}$	
f_k	Удельная касательная сила тяги	кг/т	$f_k = \frac{F_k}{P + Q}$	
g	Ускорение силы тяжести	$\left\{ \begin{array}{l} 9,8 \\ \text{м/сек}^2 \\ 127\,000 \\ \text{км/ч}^2 \end{array} \right.$		
H	Испаряющая поверхность нагрева (водяная)	м ²		H
H_n	Поверхности нагрева пароперегревателя (газовая)	м ²		
H_{en}	Поверхность нагрева водоподогревателя (водяная)	м ²		
h	Отметка профиля	м		
J	Момент инерции колесной пары.			
$\pm i$	Величина уклона	в тысячных долях м/км	$i = \frac{h_2 - h_1}{l}$	$\pm i$
$\pm i_k$	Величина приведенного уклона.	м/км	$\pm i_k = \pm i + w_r$	
i_c	Величина уклона спремленного профиля	м/км		
L, l	Длина пути	км	Допускается обозначение s и измерение в метрах.	
l	Ход поршня	мм		l
M	Модуль машины паровоза	кг	Для машины однократного расширения: $M = \frac{n \left(d^2 - \frac{d_{ш}^2 + d_{кш}^2}{2} \right) l \cdot p_k}{200 D}$ Для машины компаунд: $= M \frac{n_n \left(d_n^2 - \frac{d_{ш}^2 + d_{кш}^2}{2} \right) l \cdot p_k}{200 D}$	M

Буквенные обозначения	Наименование величин	Измерения	Зависимость между отдельными величинами	Буквенные обозначения некоторых величин, принятые в настоящей литературе
1	2	2	4	5
M	Масса поезда		$M = 1000 \frac{P + Q}{g}$	
m	Отношение суммы полезн. объемов цилиндров низкого давления к сумме объемов цилиндров высокого давления . .		$m = \frac{n_n d_n^2}{n_o d_o^2}$	
N_i	Мощность индикаторная . . .	$\frac{75}{\text{кгм/сек.}}$	$N_i = \frac{F_i v}{270}$	N
N_k	Мощность на ободу	$\frac{75}{\text{кгм/сек.}}$	$N_k = \frac{F_k v}{270}$	
N_n	Мощность на крюке	$\frac{75}{\text{кгм/сек.}}$	$N_n = \frac{F_n v}{270}$	
n	Число цилиндров у паровозов однократного расширения .			
n_o	Число цилиндров высокого давления у паровозов компаунд			n
n_n	Число цилиндров низкого давления			
P	Вес локомотива с тендером в рабочем состоянии	t		P
P_k	Сцепной вес локомотива . .	t		
P_m	Тормозной вес локомотива . .	t		
$P_{(тенд)}$	Тормозной вес тендера . . .	t		
p_i	Среднее индикаторное давление в цилиндре машины однократного расширения, или среднее индикаторное давление ренкинизированной диаграммы машины компаунд . . .	at	$p_i = \xi p_k$	p_k
p_k	Давление в котле манометрическое	at		
Q	Вес вагонов в поезде (брутто).	t		
Q_m	Тормозной вес вагонов . . .	t		
q	Полный вес вагона (брутто) .	t		
q_m	Вес порожнего вагона (тара) .	t		
R	Площадь колосниковой решетки	m^2		
R	Радиус кривой пути	m		

Буквенные обозначения	Наименование величин	Измерения	Зависимость между отдельными величинами	Буквенные обозначения некоторых величин, принятые в немецкой литературе
1	2	3	4	5
s	Длина пути (или L, l)	км (или м)		
T	Полное время прохода поездом перегона	ч (или мин)		
U	Время хода	ч (или мин)		
u	Часовой расход пара машиной	кг/ч		
U/N	Расход пара на один (одиночный) ход поршня цилиндра, работающего свежим паром . . .	кг		
v	Часовой расход пара на одну лошадиную силу	кг/ч		
W_i	Скорость движения поезда . .	кг/ч	$v = \frac{l}{t}$	
W_k	Полное сопротивление поезда (в сопротивление поезда не включаются тормозная сила и сила инерции)	кг	$W_i = (w' + w_n)P + w''Q$ $W_i = (w' + w_3)P + w''Q$	W
W_n	Полное сопротивление поезда как ряда сцепленных повозок .	кг	$W_k = w'P + w''Q$	
w'	Полное сопротивление вагонов поезда (состава)	кг	$W_n = w''Q$	
w''	Общее удельное (на одну тонну веса локомотива с тендером) сопротивление локомотива с тендером как повозки . . .	кг/т	$w' = w'_0 \pm i + w'_r$	
w_i	Общее удельное (на одну тонну веса, состава т. е. вагонов) сопротивление вагонов	кг/т	$w'' = w''_0 \pm i + w''_r$	
w_k	Общее удельное (на одну тонну веса всего поезда) сопротивление поезда	кг/т	$w_i = \frac{W_i}{(P+Q)} =$ $= \frac{(w' + w_n)P + w''Q}{(P+Q)}$ или $= \frac{(w' + w_3)P + w''Q}{(P+Q)}$	
	Общее удельное (на одну тонну веса поезда) сопротивление поезда как ряда сцепленных повозок	кг/т	$w_k = \frac{W_k}{(P+Q)} =$ $= \frac{(w'_0 \pm i + w'_r)P + (w''_0 \pm i + w''_r)Q}{(P+Q)}$	w

Буквенные обозначения	Наименование величин	Измерения	Зависимость между отдельными величинами	Буквенные обозначения некоторых величин, принятые в немецкой литературе
1	2	3		
w_m	Удельное (на одну тонну веса паровоза и тендера) сопротивление машины паровоза при открытом регуляторе . . .	кг		
w_3	Удельное (на одну тонну веса паровоза тендера) сопротивление машины паровоза при закрытом регуляторе	кг		
w_0	Удельное (на одну тонну веса поезда) и сопротивление поезда на прямом горизонтальном пути При движении с закрытым регулятором в w_0 выходит и w_3	кг		
w'_0	Удельное (на одну тонну веса локомотива с тендером) сопротивление локомотива с тендером как повоза на прямом горизонтальном пути . . .	кг		
w''_0	Удельное (на одну тонну веса состава, т. е. вагонов) сопротивление вагонов на прямом горизонтальном пути	кг		
w_r	Удельное (на одну тонну веса поезда) сопротивление поезда от кривой	кг		
X	Сила нажатия тормозных колодок	кг		
y	Интенсивность горения, т. е. часовой расход топлива на $1 м^2$ колосниковой решетки . . .	кг/м ² · ч		
z_k	Интенсивность парообразования по котлу, т. е. число килограммов пара, снимаемого с $1 м^2$ испаряющей поверхности нагрева в час	кг/м ² · ч		
z_m	Интенсивность порообразования по машине, т. е. часовой расход пара на машину паровоза, отнесенный к $1 м^2$ испаряющей поверхности нагрева. . . .	кг/м ² · ч		

Буквенные обозначения	Наименование величин	Измерения	Зависимость между отдельными величинами	Буквенные обозначения некоторых величин, принятые в международной литературе
1	2	3	4	5
z_0 Греческий алфавит.	Часовой расход пара прибором паровоза (кроме машины) и на утечку, отнесенный на 1 м^2 испаряющей поверхности нагрева.	$\text{кг}/\text{м}^2 \cdot \text{ч}$		
α	Центральный угол кривой пути	градус		
δ	Коэффициент нажатия тормозных кол док		$\delta = \frac{X}{\Pi}$ (Π — статическое давление колеса на рельс в кг)	
δ_n	Средний коэффициент нажатия тормозных колодок		$\delta_n = \frac{\sum \delta \Pi}{1000 (P_m + Q_m)}$	
ε	Отсечка в цилиндрах машины однократного расширения	В долях хода поршня		ε
ε_v	Отсечка в цилиндрах высокого давления машины компаунд	То же		
ε_n	Отсечка в цилиндрах низкого давления машины компаунд	То же		
ζ	Ускорение поезда в час при равнодействующей силе $1 \text{ кг}/\text{т}$	$\text{км}/\text{ч}^2$		
η_k	Коэффициент полезного действия котла			
η_m	Механический коэффициент полезного действия машины			
ϑ	Тормозной коэффициент поезда		$\vartheta = \frac{B}{1000(P + Q) \varphi_k}$	
ξ	Индикаторный коэффициент		$\xi = \frac{p_i}{p_k}$	
ϱ	Степень открытия регулятора	В долях полного открытия регулятора		ξ
φ_k	Коэффициент трения тормозной колодки о бандаж			
ψ_k	Коэффициент сцепления движущих колес с рельсами			

Обозначение метрических мер произведено по общепринятой номенклатуре буквами русского алфавита.

**СПЕЦИАЛЬНЫЕ ТЕРМИНЫ, ОТНОСЯЩЕСЯ К ТЯГОВЫМ РАСЧЕТАМ,
НА ИНОСТРАННЫХ ЯЗЫКАХ**

Русские	Английские	Немецкие	Французские
Бандаж (колеса)	Tyre	Der Radreifen	Le bandage de roue
Боксование	The slipping of the wheels	Das Schlaudern der Triebräder	Le patinage des roues
Вагон	Car	Der Wagen	La voiture
Вес	Weight	Das Gewicht	Le poids
Вес поезда	Weight of train	Das Zuggewicht	Le poids du train
Вес сцепной	Adhesive weight Total weight	Der Reibungsgewicht	Le poids adhérent
Вес тормозной	To be braked	Das gebremstes Zug-gewicht	Le poids freiné du train
Виртуальная длина	Virtual length	Die virtuelle Länge	La longueur virtuelle
Водоподогреватель	Feed Water Heater	Der Vorwärmung des Speisewassers	Le réchauffeur d'eau
Время пробега (хода)	Time taken by journey	Die Fahrzeit	La durée du parcours
Горение	Combustion	Die Verbrennung	La Combustion
Давление пара	The steam pressure	Die Dampfspannung	La pression de la vapeur
Давление пара высокое	High steam pressure	Der Dampfhochdruck	La pression haute
Давление пара низкое	Low steam pressure	Der Niederdruck	La pression basse
Движение	Motion	Die Bewegung	La mouvement
Движение поезда	The motion of train	Der Zugverkehr	Le mouvement (ou la trafic) des trains
Двойная тяга	Double working	Der Vorspann	Le service double
Диаграмма	Diagram	Das Diagramm	Le diagramme
Длина пути	Length of the track	Die Gleislänge	La longueur de la voie
Замедление	Retardation	Die Verlangsamung	Le retardement
Индикатор	Indicator	Der Indicator	L'indicateur (m)
Индикаторная диаграмма	Steam (indicator) diagram	Das Dampfdiagramm	Le diagramme des pressions
Интенсивность парообразования	Evaporation per hour per square meter of heating surface	Die Stündliche Verdampfung auf 1 m ² Heizfläche	La vaporisation horaire par 1 m ² de la surface du chauffe
Колесо	Wheel	Das Rad	La roue
Колесо ведущее	Driving wheel	Das Triebad	La roue accouplée
Колесо поддерживающее	Carrying wheel Runner	Das Tragrad; Das Laufrad	La roue porteuse
Колесная пара	Pair of wheels	Das Räderpaar	La paire de roues

Русские	Английские	Немецкие	Французские
Контрпар	Counterpressure steam	Der Gegendampf	La contre-vapeur
Котел (паровой)	Boiler	Der Kessel	La chaudière
Коэффициент	Coefficient	Der Koeffizient	Le coefficient
Кривая (уч. пути)	Curve	Die Kurve; Der Gleisbogen	La courbe
Крюк (упряжной)	Draw-hook Draw-bar hook	Der Zughaken; Der Kuppelhaken	Le crochet d'attelage; Le crochet de traction
Локомотив	Lokomotive	Die Lokomotive	La locomotive
Лошадиная сила	Horsepower (HP)	Die Pferdekraft; Die Pferdestärke (PS)	Le cheval vapeur
Машина	Engine; machine	Die Maschine	La machine
Механическая работа	Mechanical work	Die mechanische Arbeit	Le travail mécanique
Механизм	Mechanism; gear	Das Werk	Le mecanism
Модуль силы тяги (машины)	The absolute maximum of tractive power	Die absolut grösste Zugkraft	L'effort (m) maximal absolu de traction
Мощность	Capacity	Die Leistung	La puissance
Нажатие тормозной колодки	The brake pressure	Der Bremsdruck	La pression du frein
Обод (колеса)	Rim	Der Radkranz; Die Radfelge; Der Unterreifen	La jante de roue
Объем (емкость)	Volume	Der Inhalt	La capacité
Ось (колесной пары)	Axle	Die Achse	L'essieu (m)
Ось ведущая	Driving axle	Die Triebachse; Die Treibachse	Essieu (m) moteur
Ось спаренная	Coupled axle	Die Kuppelachse	Essieu (m) accouplé (ou couplé)
Ось поддерживающая	Free (or non-coupled) (or karrying) axle	Die Laufachse	Essieu (m) porteur
Остановка	Stopping	Das Anhalten	L'arrêt (m)
Отметка (профиля)	Height above datum	Die Kote; Die Höhenkote	La côte; L'altitude (f)
Отсечка пара	The cut-off	Der Füllungsgrad des Dampfes	Le degré d'admission de la vapeur
Пар	Steam	Der Dampf	La vapeur
Пар насыщенный	The saturated steam	Der Sattdampf	La vapeur saturée
Пар перегретый	The superheated steam	Der Heissdampf	La vapeur surchauffée
Парообразование	The production of steam The getting of steam	Die Dampfenwicklung	La production de va- peur; la vaporisation
Пароперегреватель	Superheater	Der Überhitzer	Le surchauffeur
Паропроизводитель- ность	The boiler output	Die Kesselleistung	La puissance de la va- porisation (ou de la chaudière)

Русские	Английские	Немецкие	Французские
Площадь колоснико- вой решетки	Grate area (or surface)	Die Rostfläche	La surface de grille
Поверхность нагрева	The heating surface	Die Heizfläche	La surface de chauffe
Подогрев воды	Warming the water	Die Anwärmung des Wassers	Le réchauffage de l'eau
Подталкивание	Pushing	Das Nachschieben	Le refoulement
Подъем	Up-grade; rise	Die Steigung	La rampe
Поезд	Train	Der Zug	Le train
Поршень	Piston	Der Kolben	Le piston
Простой (стоянка)	Stop	Der Stillstand	L'arrêt (m)
Профиль пути	Elevation	Der Höhenplan	Le profil en long
Путь (жел.-дор.)	Line; way; road track	Das Gleis	La voie rails
Работа пара	The work done by the steam	Die Dampfarbeit	Le travail de la vapeur
Расход воды	The consumption of water	Der Wasserverbrauch	La consommation d'eau
Расход пара	The steam consump- tion	Der Dampfenverbra- uch	La consommation de la vapeur
Расход топлива	The coal consumption	Der Kohlenverbrauch; Der Brennstoffverbra- uch	La consommation (ou la dépense) du com- bustible
Расход энергии	The power consump- tion	Der Kraftverbrauch	La consommation d'én- ergie (ou de force)
Расширение пара	Expansion	Die Dehnung	La expansion
Регулятор	Throttle Regulator	Der Regulator; Der Regler	Le régulateur
Рельс	Rail	Die Schiene	Le rail
Сила тормозная	The brake power	Die Bremsenkraft	La force de freinage
Сила тяги касатель- ная (на ободу)	The tractive power at circumference of the driving wheels	Die Zugkraft am Trie- bradumfang	L'effort (m) de trac- tion (ou crochet d'at- telage) à la circon- ference de roues mo- trices
Сила тяги полезная (на крюке)	The effective tractive power (or effort)	Die Nutzzugkraft	L'effort (m) de traction utile
Скорость	Speed	Die Geschwindigkeit	La vitesse
Спуск (уклон)	Descent	Das Gefälle	La pente
Сопротивление по- езда	The train resistance	Der Zugwiderstand	La résistance
Сопротивление ос- новное (на прямой площадке)	The pure resistance	Der Grundwiderstand	Le résistance
Состав поезда	The make-up of the train	Die Zugstärke	La composition d'un train

Русские	Английские	Немецкие	Французские
Сцепление (колес с рельсами)	Adhesion	Die Adhäsion	L'adhérence (f)
Сцепка	Coupler	Die Kupplung	La couplage; l'accouplement (m)
Тара	Tare	Das Leergewicht Das Taragewicht	La tare
Тепловоз	Diesel lokomotive	Die Diesellokomotive	La locomotive Diesel
Топливо	Fuel	Das Heizstoff Das Brennstoff	Le combustible
Тормоз	Brake	Die Bremse	Le frein
Тормозная колодка	The brake shoe (or block)	Der Bremsklotz	Le sabot de frein
Тормозной путь	The braking distance	Der Bremsweg	La distance de freinage
Тормозное усилие	The brake power	Die Bremskraft	L'effort (m) du freinage
Удельная сила тяги	The Tractive effort	Die spezifische Zugkraft	L'effort (m) de traction spécifique
Удельное сопротивление	The spécifique resistance	Der spezifische Widerstand	La résistance spécifique
Уклон	Gradient; grade; incline	Die Neigung	La déclivité
Ускорение	Acceleration	Die Beschleunigung	L'accélération (f)
Ход поршня	The strike of piston	Der Kolbenhub	La course du piston
Цилиндр паровой	The steam cylinder	Der Dampfzylinder	Le cylindre à vapeur
Ширина колеи	Gauge (track) Gauge	Die Spurweite; das Spurmass	La largeur de voi, l'écartement (m) des rails
Электровоз	Electric lokomotive	Die Elektrolokomotive	La locomotive électrique

Приложение 5

Г Р Е Ч Е С К И Й А Л Ф А В И Т

Изобра- жение	Наименование	Изобра- жение	Наименование	Изобра- жение	Наименование
<i>A α</i>	Альфа	<i>I ι</i>	Йота	<i>P ρ</i>	Ро
<i>B β</i>	Бета	<i>K κ</i>	Каппа	<i>Σ σ,ς</i>	Сигма
<i>Γ γ</i>	Гамма	<i>Λ λ</i>	Ламбда	<i>T τ</i>	Тау
<i>Δ δ</i>	Дельта	<i>Μ μ</i>	Ми	<i>Υ υ</i>	Ипсилон
<i>E ε</i>	Эпсилон	<i>N ν</i>	Ни	<i>Φ φ</i>	Фи
<i>Z ζ</i>	Дзета	<i>Ξ ξ</i>	Кси	<i>Χ χ</i>	Хи
<i>Η η</i>	Эта	<i>Ο ο</i>	Омикрон	<i>Ψ ψ</i>	Пси
<i>Θ θ</i>	Тэта	<i>Π π</i>	Пи	<i>Ω ω</i>	Омега

Приложение 6

ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА ВЕРСТ В КИЛО МЕТРЫ

Версты	В е р с т ы									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	1,067	2,134	3,200	4,267	5,334	6,401	7,468	8,534	9,601
10	10,668	11,735	12,801	13,868	14,935	16,002	17,069	18,130	19,202	20,269
20	21,336	22,403	23,469	24,536	25,603	26,670	27,737	28,803	29,870	30,937
30	32,004	33,070	34,137	35,204	36,271	37,338	38,404	39,471	40,538	41,605
40	42,672	43,738	44,805	45,872	46,939	48,006	49,072	50,139	51,206	52,273
50	53,340	54,406	55,473	56,540	57,607	58,675	59,740	60,807	61,874	62,941
60	64,007	65,074	66,141	67,203	68,275	69,341	70,408	71,475	72,542	73,609
70	74,675	75,742	76,809	77,876	78,942	80,009	81,076	82,143	83,210	84,276
80	85,343	86,410	87,477	88,544	89,610	90,677	91,744	92,811	93,878	94,9 44
90	96,011	97,078	98,145	99,211	100,278	101,345	102,412	103,478	104,54	105,612

ТАБЛИЦА ПЕРЕВОДА САЖЕНЕЙ В МЕТРЫ

Сажени	С а ж е н ы									
	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	—	2,13	4,27	6,40	8,53	10,67	12,80	14,93	17,07	19,20
10	21,34	23,47	25,61	27,74	29,87	32,01	34,14	36,27	38,41	40,54
20	42,67	44,80	46,94	49,07	51,20	53,34	55,47	57,60	59,74	61,87
30	64,01	66,14	68,28	70,41	72,54	74,68	76,81	78,94	81,08	83,21
40	85,34	87,47	89,61	91,74	93,87	96,01	98,14	100,27	102,41	104,54
50	106,68	108,81	110,95	113,08	115,21	117,35	119,48	121,61	123,75	125,88
60	128,01	130,14	132,28	134,41	136,55	138,69	140,82	142,95	145,08	147,21
70	149,35	151,48	153,62	155,75	157,89	160,02	162,15	164,28	166,42	168,55
80	170,69	172,82	174,96	177,09	179,22	181,36	183,49	185,62	187,76	189,89
90	192,02	194,15	196,29	198,42	200,55	202,69	204,82	206,95	209,09	211,22