

*Степанов*

1886.

ОПРЕДѢЛЕНІЕ

РАСХОДОВАНІЯ ТОПЛИВА

ПАРОВОЗАМИ.

Составилъ Л. Ераковъ.

Инженеръ Путей Сообщенія.



САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Министерства Путей Сообщенія (А. Бенке), по Фонтанкѣ № 99.

1877.



621/33  
E 69

# ОПРЕДѢЛЕНІЕ

Авансовый наряд  
Техн. №  
Дата 2004

C. 172  
3

# РАСХОДОВАНІЯ ТОПЛИВА

# ПАРОВОЗАМИ.

40084

Составилъ Л. Фраковъ.

Инженеръ Путей Сообщенія.



САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

Типографія Министерства Путей Сообщенія (А. Бенке), по Фонтанкѣ № 99.

1975

1877.

БИБЛИОТЕКА  
Белорусского  
института инженеров  
железнодорожного





## ОПРЕДѢЛЕНІЕ РАСХОДОВАНІЯ ТОПЛИВА ПАРОВОЗАМИ\*).

Топливо, расходуемое паровозами, составляет весьма значительную издержку для желѣзныхъ дорогъ и сбереженіе его всегда бываетъ предметомъ особой заботливости желѣзнодорожныхъ Управленій; введеніе премій паровозной прислугѣ за сбереженіе топлива, даетъ вообще очень хорошіе результаты, но для достиженія ихъ нужно продолжительное время, необходимое для выработки правильныхъ, нормальныхъ, назначеній расхода топлива; эти нормальные назначенія т. е. назначеніе количества топлива по вѣсу или объему, на версту пробѣга поѣздовъ, извѣстнаго рода и состава (какъ это обыкновенно принято) весьма различны, для дорогъ находящихся въ различныхъ условіяхъ, въ отношеніи продольнаго профиля и особенностей движенія и, близкое къ дѣйствительности, опредѣленіе ихъ дѣлается ощупью, послѣ продолжительнаго опыта; съ другой стороны, на расходованіе топлива паровозами имѣетъ большое вліяніе правильное, тщательно соображенное съ профилемъ дороги, росписаніе движенія поѣздовъ. Составленіе нормальныхъ назначеній расхода топлива, и росписаній движенія поѣздовъ, на дорогахъ, начинающихъ свою дѣятельность, по окончаніи постройки, дѣлается обыкновенно, по сравненію съ другими, находящимися уже въ эксплуатаціи дорогами, а какъ обстоятельства и условія эксплуатаціи рѣдко бываютъ одинаковыми, въ сравниваемыхъ между собою дорогахъ, то часто случается что введенныя нормы оказываются неудовлетворительными, измѣняются по нѣсколько разъ и дѣло приходитъ въ порядокъ, только послѣ долгаго хожденія ощупью; между тѣмъ довольно близкое къ дѣйствительности разрѣшеніе вопросовъ, относящихся до расходованія топлива паровозами, можетъ быть достигнуто не очень сложными расчетами, порядокъ хода которыхъ изложенъ ниже.

Чтобы знать количество топлива, израсходованнаго паровозомъ, прошедшимъ съ поѣздомъ извѣстное протяженіе дороги, достаточно знать какое количество пара прошло черезъ цилиндры паровоза или, другими словами, нужно знать съ какою скоростью и съ какимъ расширеніемъ пара шель паровозъ,

\*) Помѣщенныя ниже таблицы и численныя выкладки, были проверены студентомъ V курса Института Инженеровъ Путей Сообщенія А. Д. Романовымъ (нынѣ инженеръ), которому пользуюсь случаемъ принести искреннюю благодарность.



въ каждый моментъ своего движенія. Степень расширенія пара зависитъ отъ силы тяги паровоза, или же, что все равно, отъ сопротивленія поѣзда движенію, находящагося въ зависимости отъ состава поѣзда, профиля дороги и скорости, и эта послѣдняя обусловливается, въ свою очередь, степенью расширенія пара и паропроизводительностью паровознаго котла. По этому опредѣленіе расхода пара въ каждый моментъ движенія паровоза можетъ быть сдѣлано слѣдующимъ образомъ: положимъ что намъ данъ участокъ желѣзной дороги, извѣстнаго протяженія, профиль котораго, состоитъ изъ послѣдовательныхъ подъемовъ, скатовъ, площадокъ, а планъ, изъ прямыхъ и кривыхъ, различныхъ радіусовъ, а, также, данъ паровозъ извѣстнаго устройства и размѣровъ; сперва мы опредѣлимъ наибольшую \*) (въ предѣлахъ допускаемыхъ практикою) силу тяги паровоза и соответственную ей скорость движенія; затѣмъ, выберемъ самую затруднительную для движенія часть профиля (съ наибольшимъ подъемомъ и кривыми наименьшаго радіуса), вычислимъ вѣсъ поѣзда, который данный паровозъ, при наибольшей величинѣ своей силы тяги, въ состояніи везти по этой части профиля; поѣздъ этотъ будетъ наибольшимъ для всего участка дороги—если участокъ этотъ эксплуатируется одиночными паровозами, одного и того-же типа. По этому поѣзду, наибольшаго вѣса, мы можемъ вычислить сопротивленія имъ представляемая, въ каждой точкѣ профиля дороги, и слѣдовательно опредѣлить потребную силу тяги паровоза, расширеніе пара въ цилиндрахъ и наивыгоднѣйшую \*\*) скорость движенія (въ дѣйствительности, мы, руководствуясь разными соображеніями, можемъ назначать и другія скорости); сдѣлавъ такіа вычисления мы будемъ въ состояніи опредѣлить расходъ пара въ каждый моментъ движенія паровоза, а слѣдовательно и расходъ топлива,— для поѣзда *наибольшаго* вѣса, на данномъ участкѣ дороги. Такимъ же образомъ можно опредѣлить расходъ топлива и для поѣзда всякаго другаго, меньшаго, вѣса.

Порядокъ расчета лучше всего будетъ видѣнъ на численномъ примѣрѣ и, какъ опредѣленіе расхода топлива болѣе важно въ отношеніи товарныхъ паровозовъ, потребляющихъ большія его количества, то мы возьмемъ, одинъ, изъ очень хорошихъ типовъ сильныхъ, товарныхъ паровозовъ, именно типъ 8-ми колеснаго паровоза, Николаевской желѣзной дороги, серіи З, поставки завода Фивъ-Лилль и рассмотримъ его движеніе по дорогѣ, съ уклонами въ 0,010 и кривыми радіуса въ 300 сажень.

Паровозы серіи З имѣютъ слѣдующіе главные размѣры :

Диаметръ цилиндровъ . . . . .	$d = 0,50$ метра
Ходъ поршней . . . . .	$l = 0,65$ »
Диаметръ колесъ . . . . .	$D = 1,300$ »
Абсолютное давленіе пара въ котлѣ . . . . .	$p_0 = 9$ атмосферъ
Поверхность нагрѣва трубокъ и топки, вмѣстѣ . . . . .	185 □ метровъ
Вѣсъ паровоза на ходу . . . . .	44 тонны
Вѣсъ тендера съ запасами воды и дровъ . . . . .	28 тоннъ
Коэффициентъ, такъ называемаго, вреднаго пространства въ цилиндрахъ . . . . .	$m = 0,08$ .

Распредѣленіе пара въ этомъ паровозѣ устроено посредствомъ кулисы Стефенсона; протяженіе частей хода поршня въ различныхъ періодахъ парораспредѣленія показано въ слѣдующей таблицѣ, въ которой черезъ  $l_1$  обозначено протяженіе части хода поршня, соответствующей концу выпуска пара;  $l_a$  — соответствующей началу выпуска пара;  $l_c$  — соответствующей началу сжатія пара и наконецъ

\*) Такъ какъ паровозы въ особенности товарные, должны везти поѣзда, по возможности, большаго вѣса.

\*\*) Какъ ниже увидимъ.



$l_e$  — соответствующей началу предварения впуска пара, считая всё эти протяжения от начала хода поршня :

Таблица I.

	Номеръ зубца шпалы ходоваго винта			
	15	30	50	75 полный ходъ
$\frac{l_1}{l}$	0,158	0,300	0,500	0,730
$\frac{l_a}{l}$	0,580	0,710	0,810	0,910
$1 - \frac{l_a}{l}$	0,420	0,290	0,190	0,090
$\frac{l_c}{l}$	0,590	0,710	0,820	0,920
$\frac{l_e}{l}$	0,944	0,977	0,992	0,99875
$1 - \frac{l_e}{l}$	0,056	0,023	0,008	0,00125

Всё эти величины, а также и величина  $m$  были определены непосредственнымъ измѣреніемъ \*).

Приступимъ теперь къ послѣдовательному опредѣленію разныхъ величинъ, необходимыхъ для нашего разчета.

### 1. Опредѣленіе силы тяги паровоза.

Сила тяги паровоза, т. е. средняя величина рабочаго давленія пара въ цилиндрахъ, при равномерномъ движеніи, отнесенная къ окружности ведущихъ колесъ паровоза (или, что все равно, къ прицѣпному крюку паровоза), которую мы назовемъ черезъ  $F$ , можетъ быть выражена слѣдующимъ образомъ:

$$F = 0,8 \frac{d^{21}}{D} (p_m - r_m) 10333 \text{ килогр.}$$

гдѣ  $p_m$  — среднее (въ продолженіи одного хода поршня) давленіе рабочаго пара, на 1 кв. метръ площади поршня, въ атмосферахъ;  $r_m$  — среднее давленіе (въ продолженіи одного хода поршня) пара отработавшаго и выпускаемаго въ дымовую трубу, на 1 кв. метръ площади поршня, въ атмосферахъ; 10333 — давленіе одной атмосферы, въ килограммахъ на 1 кв. метръ.

Коэффициентъ 0,8 выражаетъ собою потерю силы тяги паровоза отъ сопротивленій механизма паровоза; для 8-ми-колеснаго паровоза сопротивленіе это принимается обыкновенно около 20 килограммовъ на тонну вѣса машины съ тендеромъ; скидка 20% съ силы тяги (при включеніи вѣса тендера въ вѣсъ поѣзда, какъ мы примемъ въ дальнѣйшихъ разчетахъ), съ избыткомъ покрываетъ величину сопротивленій, разсчитанную по 20 килограммовъ на тонну; надо замѣтить, что при большихъ впускахъ пара эта потеря должна быть больше, чѣмъ при малыхъ.

Величины  $p_m$  и  $r_m$  выражаются слѣдующимъ образомъ:

$$p_m = p_1 \left[ \frac{l_1}{l} + 0,95 \frac{\left( \frac{l_1}{l} + m \right)}{\mu - 1} \left( 1 - \left[ \frac{\frac{l_1}{l} + m}{\frac{l_a}{l} + m} \right]^{\mu - 1} \right) \right] + \left( 1 - \frac{l_a}{l} \right) p_2$$

\*) Стр. 6 и 8, сочиненіе Г. Щенсновича: *О дѣйствіи паровозовъ противупаромъ*, 1873.



$$r_{20} = p_1 \left[ \frac{1-k}{1} + 1,1 \frac{\left(1 - \frac{1-k}{1} + m\right)}{x-1} \left( \left( \frac{1 - \frac{1-k}{1} + m}{1 - \frac{1-k}{1} + m} \right)^{x-1} - 1 \right) \right] + \left(1 - \frac{1-k}{1}\right) p_1.$$

Въ выраженіяхъ этихъ  $p_1$  есть упругость (въ атмосферахъ) пара, входящаго въ цилиндры из котла; упругость эта несколько меньше, чѣмъ упругость пара въ котлѣ, вследствие потерь давленій отъ всасываемыхъ паромъ сопротивленій при прохожденіи черезъ регуляторъ, по трубамъ и черезъ парораспределительный приборъ; при хорошо устроенныхъ паропроводныхъ трубахъ, съ довольно большіимъ диаметромъ, при большіихъ паровпускныхъ окнахъ, потери давленія невелики и  $p_1$  можетъ быть принято въ  $0,95 p_{00}$  — слѣд., при  $p_{00} = 9$  атмосферамъ будемъ имѣть  $p_1 = 0,95 \times 9 = 8,55$  атмосферъ \*).

Давленіе отработааннаго пара, выпускаемаго изъ цилиндровъ въ дымовую трубу, т. е.  $p_2$ , для товарныхъ паровозовъ, можетъ быть принято въ 1,15 атмосферъ.

Коэффициентъ  $\mu$ , по опредѣленію Цейнера, равенъ  $1,035 + 0,1 x$ , гдѣ  $x$ , есть число, опредѣляющееся содержаніемъ въ парѣ, воды въ капельномъ видѣ. При совершенно сухомъ парѣ  $x=1$ ; при содержаніи воды въ парѣ,  $x$  равенъ разности между единицею и отношеніемъ вѣса воды, заключающейся въ данномъ вѣсѣ смеси пара съ водою, въ этому послѣднему вѣсу. Такъ напр. при  $10\%$  содержанія воды во вѣсу,  $x = 1 - 0,1 = 0,9$ . Надо замѣтить, что выраженіе для  $\mu$  вѣрно только до  $30\%$  содержанія воды въ парѣ. Это содержаніе воды принимаютъ обыкновенно весьма значительныя — что не совсемъ вѣрно, потому что самыя способы опредѣленія содержанія воды, которые употреблялись при опытахъ, были не вполне точны; напр. при опытахъ, произведенныхъ на Восточной французской ж. дорогѣ, вода, уносающаяся вѣтерѣ съ паромъ, опредѣлялась разностью между расходомъ воды въ тендерѣ и теоретическимъ объемомъ расхода пара въ цилиндрахъ, не принимая въ соображеніе вредныхъ пространствъ, утечки пара черезъ поршни, а также разнаго рода другихъ потерь пара и воды \*\*).

Изъ этихъ опытовъ и при такомъ способѣ расчета оказалось, что потеря воды измѣнялась отъ  $24\%$  до  $39\%$  и средняя величина ея была  $31\%$ . Эти цифры во всякомъ случаѣ должны быть слишкомъ велики и съ достовѣрностью можно предположить, что, при правильномъ, нормальномъ парообразованіи, въ находящемся въ исправности паровозѣ, количество воды, содержащейся въ парѣ, не превышаетъ  $10\%$  \*\*\*). Эту величину мы и примемъ для нашего расчета, и тогда  $\mu$  будетъ равно  $1,035 + 0,1 \times 0,9 = 1,125$ .

\*) Для большей увѣренности, можно принимать  $p_1 = 0,9 p$ . Здѣсь мы принимаемъ, что отверстіе регулятора открыто вполне, что и въ дѣйствительности вообще должно наблюдать, потому что ходомъ паровоза должно управлять парораспределительнымъ механизмомъ, а не регуляторомъ, малымъ откритіемъ котораго, вызываютъ только бесполезныя сопротивленія, при прохожденіи пара изъ котла въ парораспределительную коробку; уменьшать отверстія регулятора оказывается необходимымъ только тогда, когда машина выбрасываетъ воду дымовую трубою, или когда при легкомъ поѣздѣ и при самыхъ малыхъ степеняхъ впуска пара, скорость движенія встаетъ оказывается излишне большою; машинисты часто держатъ регуляторъ полуоткрытымъ при нормальномъ ходѣ (что имъ возможно дѣлать, потому что рѣдко поѣзда соответствуютъ наибольшей возможной силѣ тяги паровоза) и открываютъ его вполне для преодоленія небольшихъ препятствій профили; но постоянно вводить бесполезныя сопротивленія, для пользованія полнымъ давленіемъ, въ частныхъ случаяхъ было бы неправильно.

\*\*) De la résistance des trains et de la puissance des machines, par L. Vuillemin, A. Guebard et C. Dieudonné, Paris 1868, стр. 78.

\*\*\*) Дѣйствительно, считая вредное пространство въ  $8\%$  (съ каждаго конца) объема цилиндра и полагая, что потеря пара черезъ поршень и разныя другія потери составляютъ не менѣе  $10\%$  общаго его расхода, вѣсъ дѣйствительно расходимаго пара, будетъ больше опредѣленнаго инженерами Восточной французской жел. дороги, въ отношеніи  $1,08 \times 1,1 = 1,188$  слѣд., потеря воды въ капельномъ видѣ будетъ  $\frac{1,31 - 1,188}{1,188} = 0,102$  т. е. около  $10\%$ . — Кроме того, очень возможно (такъ



Подставляя въ выраженіи  $p_m$  и  $r_m$ , выбранная нами величины  $p_1$ ,  $p_2$  и  $\rho$ , а также данныя парораспределенія, можемъ составить слѣдующую таблицу:

Т а б л и ц а II.

$\frac{l_1}{l}$	$p_m$ атмосферъ	$r_m$ атмосферъ	$p_m - r_m$ атмосферъ	Сила тяги F килограммовъ
0,158	3,689	2,019	1,670	1725
0,300	5,057	1,662	3,395	3508
0,500	6,457	1,393	5,064	5233
0,730	7,650	1,210	6,440	6654

Такимъ образомъ мы опредѣлили силу тяги паровоза для четырехъ степеней впуска пара, причемъ наибольшая величина ея равняется 6654 килограммамъ \*).

Теперь слѣдуетъ сравнить сцепленіе колесъ паровоза съ наибольшею силою тяги. Вѣсъ паровоза на ходу 44 тонны, и вѣс колеса связаны шатунами слѣдовательно, будемъ имѣть что  $f \cdot 44000 = 6654$ , откуда  $f = \frac{1}{6,6}$ . Этотъ коэффициентъ сцепленія вполнѣ возможенъ для лѣтняго времени; для осенняго и зимняго времени нельзя рассчитывать на коэффициентъ большій  $\frac{1}{8}$ , и тогда за наибольшую силу тяги слѣдуетъ принимать  $\frac{44000}{8} = 5500$  кил. Мы будемъ продолжать дѣлать расчетъ для лѣтняго времени, т. е. принимая возможность наибольшей силы тяги въ 6654 килогр. и наибольшаго впуска пара въ 73/0, хода поршня.

Силу тяги паровоза можно выразить графически, пользуясь вычисленными величинами, принимая  $\frac{l_1}{l}$  (т. е. отношенія частей хода поршня, въ продолженіе которыхъ паръ входитъ въ цилиндры, къ цѣлому ходу поршня) за абсциссы, а F (силу тяги) за ординаты. Въ нашемъ расчетѣ вычислены координаты только четырехъ точекъ, для кривой, выражающей силу тяги \*\*), даннаго паровоза въ зависимости отъ степени расширенія пара, чего конечно, недостаточно и кривая вычерчена приблизительно ломанными прямыми; для болѣе точнаго вычерчиванія кривой, особенно при значительныхъ расширеніяхъ пара, слѣдуетъ брать большее число положеній кулисы, но, какъ наши вычисления имѣютъ цѣлью только показать ходъ и порядокъ расчета, то вычерченная кривая достаточна. При вычерчиваніи маасштабъ ординатъ взять въ 10 килогр. въ одномъ миллиметрѣ.

По этой кривой (А А) легко опредѣлить степень впуска пара, по данной силѣ тяги паровоза и наоборотъ.

## 2. Опредѣленіе расхода пара.

Расходъ пара цилиндрами (не принимая въ соображеніе утечекъ черезъ поршни) въ часть времени выражается слѣдующимъ образомъ:

$$S = \frac{d^2 l}{D} 1000 \sqrt{\left[\left(\frac{l_1}{l} + m + 1 - \frac{l_c}{l}\right) \delta_1 - \left(m + 1 - \frac{l_c}{l}\right) \delta_2\right]}$$

какъ опыты производились въ 1864 — 1865 годахъ), что, при вычисленіяхъ вѣса пара, гг. инженеры Восточной дороги употребляли прежнія таблицы данныхъ, для водянаго пара, которыя для вѣса 1 куб. метра, при равныхъ упругостяхъ, даютъ величины меньшія, чѣмъ, болѣе вѣрныя таблицы Цейнера (Resultate der mechanischen Wärmetheorie. D-r Grashof. Стр. 18 и 20 и Formules, Tables etc. par. J. Claudel, 1867. Стр. 459—464).

\*) Сила тяги безъ скидки 20/0 была бы 8317 килогр. и 20/0 съ этой цифры составляетъ 1663 килогр., между тѣмъ, считывая внутреннія сопротивленія паровоза по 20 кил. съ тонны, вся скидка была бы только 880 кил. (см. выше).

\*\*) Потому что мы имѣли только четыре положенія кулисы, опредѣленные непосредственнымъ измѣреніемъ.



гдѣ:  $S$  — расходъ пара въ килограммахъ въ часъ,  
 $V$  — скорость паровоза въ километрахъ въ часъ,  
 $\delta_1$  — вѣсъ 1 куб. метра пара при упругости  $0,95p_1$ ,  
 $\delta_2$  — вѣсъ 1 куб. метра пара при упругости  $1,1p_2$ .

При величинахъ  $d$ ,  $l$  и  $D$  разсматриваемаго паровоза будемъ имѣть:

$$S = 125V \left[ \left( \frac{l_1}{l} + m + 1 - \frac{l_0}{l} \right) \delta_1 - \left( m + 1 - \frac{l_0}{l} \right) \delta_2 \right]$$

Къ этой величинѣ расхода пара надо прибавить утечку черезъ поршень, представляющую, какъ до сихъ поръ принимается, главнѣйшую часть общей, бесполезной, потери пара, потому что другія случайныя утечки, напр. черезъ швы листовъ котла, стыки трубъ, черезъ предохранительные клапаны, въ паровозѣ, исправно содержимомъ, весьма незначительны. Для опредѣленія утечки пара черезъ поршень можно воспользоваться формулою выведенною Фелькерсомъ изъ опытовъ \*), а именно:

$$S_1 = 450d\sqrt{p_m - r_m}$$

гдѣ  $S_1$  — утечка пара черезъ поршень, въ килогр. въ часъ; значеніе прочихъ буквъ то же, что и выше.

Для паровоза, имѣющаго два цилиндра,  $S_1 = 2 \times 450d\sqrt{p_m - r_m}$ , а при  $d=0,5$  метра  $S_1 = 450\sqrt{p_m - r_m}$ .

Надо замѣтить, что Фелькерсъ производилъ свои опыты надъ постоянными, фабричными, паровыми машинами, содержимыми *посредственнымъ* образомъ, и если примѣнять прямо его формулу къ паровозамъ, содержаніе которыхъ вообще несравненно лучше, чѣмъ постоянныхъ фабричныхъ машинъ и имѣющимъ, кромѣ того, поршни, гораздо лучшихъ системъ (напр. шведской), чѣмъ машины, надъ которыми Фелькерсъ производилъ свои опыты, то размѣры утечекъ пара получаются чрезвычайно большими, несообразными съ практикою. Не слишкомъ рисковано будетъ предположить (за неимѣніемъ новѣйшихъ опытовъ), что паровозные поршни, нынѣ употребляемыхъ системъ, по крайней мѣрѣ вдвое меньше пропускаютъ пара, чѣмъ поршни прежнихъ конструкцій, и, сообразно съ этимъ предположеніемъ, принять вмѣсто коэффициента 450 коэффициентъ 225 \*\*). Тогда будемъ имѣть:

$$S_1 = 225\sqrt{p_m - r_m} \text{ и}$$

$$S = 125V \left[ \left( \frac{l_1}{l} + m + 1 - \frac{l_0}{l} \right) \delta_1 - \left( m + 1 - \frac{l_0}{l} \right) \delta_2 \right] + 225\sqrt{p_m - r_m} \text{***)}$$

гдѣ, для нашего случая, при  $p_1=8,55$  атм. и  $p_2=1,15$  атм., соответственныя величины  $\delta_1$  при давленіи  $0,95 \times 8,55 = 8,1225$  атм. и  $\delta_2$  при давленіи  $1,1 \times 1,15 = 1,265$  атм. будутъ приблизительно (по таблицамъ Цейнера):

$$\delta_1 = 4,337 \text{ к.}$$

$$\delta_2 = 0,7470 \text{ к.}$$

Вычисляя величины  $S$  для разныхъ степеней расширенія, получимъ слѣдующую таблицу:

\*) Resultate der mechanischen Wärmetheorie, von D-r. F. Grashof, 1870 стр. 80.

\*\*) Можно предполагать, что, при нынѣ употребляемыхъ поршняхъ, пропусканіе пара существуетъ въ весьма малыхъ размѣрахъ; главная потеря воды или пара происходитъ отъ образованія воды во время впуска пара въ цилиндры, вслѣдствіе охлажденія его, ихъ стѣнками. Это охлажденіе особенно значительно при наружныхъ цилиндрахъ, какіе всегда почти и бывають. Часть этой воды обращается вновь въ паръ, въ періодъ расширенія по, если воды охладилось много, то испареніе ея можетъ продолжаться и въ періодъ выпуска пара, что уже составляетъ чистую потерю работы. По неимѣнію данныхъ въ этомъ отношеніи, мы вынуждены ограничиться сдѣланными въ текстѣ предположеніями; впрочемъ, какъ увидимъ ниже, полученныя величины расхода пара довольно близки къ опредѣленнымъ опытомъ.

\*\*\*) При этомъ утечка пара черезъ поршень, среднимъ числомъ, составитъ около 12% полезнаго расхода пара.



Таблица III.

$\frac{l_1}{l}$	S Расходъ пара въ килограммахъ, въ часъ
0,158	113,63 V + 290
0,300	183,93 V + 416
0,500	294,49 V + 506
0,730	424,85 V + 571

Поверхность нагрѣва (топки и трубокъ вмѣстѣ) разсматриваемаго паровоза составляетъ 185 кв. метровъ; на одномъ квадрат. метрѣ соединенной поверхности нагрѣва, можетъ образоваться въ паровозахъ, подобнаго типа, при нормальномъ ихъ ходѣ, не менѣе 35 килограммовъ пара въ часъ времени\*); слѣдовательно, въ котлѣ паровоза, въ часъ времени можетъ обратиться въ паръ  $185 \times 35 = 6475$  килограммовъ воды. Принимая эту цифру за наибольшую паропроизводительность паровоза, можемъ опредѣлить наибольшія скорости, съ которыми паровозъ можетъ идти при различныхъ степеняхъ расширения, приравнивая полученныя выше выраженія для S, паропроизводительности 6475 килограммовъ и опредѣляя V. Такимъ образомъ получимъ:

Таблица IV.

$\frac{l_1}{l}$	0,158	0,300	0,500	0,730
V <sub>max</sub> километровъ въ часъ	54,4	32,9	20,8	13,9

Скорость въ 54,4 километровъ въ часъ не должна быть допускаема и приводится здѣсь только какъ высшій предѣлъ.

Расходъ пара на километръ пройденнаго паровозомъ пути опредѣлится, раздѣляя выраженія S на V; а расходъ пара на паровую лошадь получится раздѣленіемъ S на  $N = \frac{F.V. 1000}{3600 \times 75}$  такимъ образомъ получится таблица:

Таблица V.

$\frac{l_1}{l}$	$\frac{S}{V}$ килограммовъ Расходъ пара на километръ пройденнаго пути	$\frac{S}{N}$ килограммовъ Расходъ пара на паровую лошадь полезной работы
0,158	$113,63 + \frac{290}{V}$	$17,78 + \frac{45,89}{V}$ **)
0,300	$183,93 + \frac{416}{V}$	$14,15 + \frac{32,01}{V}$
0,500	$294,49 + \frac{506}{V}$	$15,19 + \frac{26,10}{V}$
0,730	$424,85 + \frac{571}{V}$	$17,23 + \frac{23,16}{V}$

\*) Voie, materiel roulant et exploitation technique des chemins de fer, Ch. Couche, 1870. Tome II стр. 589—592.

\*\*) Изъ выраженія  $\frac{S}{N}$  видно, что при впускахъ пара въ 0,3 и въ 0,5 хода поршня (наиболѣе случающихся) расходъ пара на лошадь будетъ не менѣе 15 килограммовъ. Здѣсь N означаетъ число паровыхъ лошадей полезной работы (ибо съ силы



Вычисляя  $\frac{S}{V}$  для разных  $\frac{1}{l}$  и  $V$  (не превосходящих 30 километров) получимъ слѣдующую таблицу:

Таблица VI.

$\frac{1}{l}$ \diagdown V километр. вь часъ	54,4	32,9	30	29	28	27	26	25	24	23	22	21	20,3	20	19	18	17	16	15	14	13,9	13
0,158	<b>119</b>	—	123 $\frac{3}{4}$	123 $\frac{3}{4}$	124	124 $\frac{1}{2}$	124 $\frac{3}{4}$	125 $\frac{1}{4}$	125 $\frac{3}{4}$	126 $\frac{1}{4}$	126 $\frac{3}{4}$	127 $\frac{1}{4}$	—	128	128 $\frac{3}{4}$	129 $\frac{3}{4}$	130 $\frac{3}{4}$	131 $\frac{3}{4}$	133	134 $\frac{1}{4}$	—	136
0,300	—	<b>195,5</b>	197 $\frac{3}{4}$	198 $\frac{3}{4}$	198 $\frac{3}{4}$	199 $\frac{3}{4}$	199 $\frac{3}{4}$	200 $\frac{3}{4}$	201 $\frac{1}{4}$	202	202 $\frac{3}{4}$	203 $\frac{3}{4}$	—	204 $\frac{3}{4}$	205 $\frac{3}{4}$	207	208 $\frac{1}{4}$	210	211 $\frac{1}{2}$	213 $\frac{1}{2}$	—	216
0,500	—	—	311 $\frac{1}{2}$	312	312 $\frac{1}{2}$	313 $\frac{1}{2}$	314	314 $\frac{3}{4}$	315 $\frac{1}{2}$	316 $\frac{1}{2}$	317 $\frac{1}{2}$	318 $\frac{1}{2}$	<b>319,5</b>	319 $\frac{3}{4}$	321	322 $\frac{1}{2}$	324 $\frac{1}{4}$	326	328	330 $\frac{1}{2}$	—	333 $\frac{1}{2}$
0,730	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	—	453 $\frac{1}{4}$	455	456 $\frac{1}{2}$	458 $\frac{1}{2}$	460 $\frac{1}{2}$	463	465 $\frac{1}{2}$	<b>466</b>	468 $\frac{3}{4}$

Цифры, напечатанныя жирнымъ шрифтомъ, соотвѣтствуютъ наибольшимъ возможнымъ скоростямъ; цифры, по лѣвую сторону ихъ стоящія не имѣютъ вещественнаго значенія и служатъ только для построенія кривыхъ.

На основаніи этой таблицы величины  $\frac{S}{V}$ , для всякой данной  $V$ , могутъ быть изображены графически, принимая за абсциссы величины  $\frac{1}{l}$ , а за ординаты - вычисленныя величины  $\frac{S}{V}$ . На чертежѣ построены такія кривыя для скоростей отъ 13 до 30 километровъ въ часъ, причемъ маасштабъ ординатъ принятъ, въ 1 миллиметръ на 1 килограммъ. (Кривыя В В).

По кривымъ, изображеннымъ на чертежѣ, задавшись произвольною величиною силы тяги (орднатой кривой силы тяги) можно опредѣлить соотвѣтственную ей степень расширенія пара (абсциссу), а также задавшись скоростью хода паровоза, опредѣлить (при той же абсциссѣ) расходъ пара на километръ пути (т. е. ординату кривой расхода пара при данной скорости); это можетъ быть сдѣлано очень быстро, простымъ измѣреніемъ линейкою съ дѣленіями на миллиметры; такимъ образомъ, зная силу тяги и скорость движенія паровоза, весьма легко знать и соотвѣтственную степень расширенія пара и расходъ пара на километръ пройденнаго пути.

### 3. Опредѣленіе сопротивленій, встрѣчаемыхъ поѣздомъ при движеніи.

Такъ какъ мы рассматриваемъ товарный паровозъ, то опредѣлимъ и сопротивленія, встрѣчаемыя товарными поѣздами; сопротивленія паровоза мы рассмотримъ отдѣльно.

Сопротивленія, встрѣчаемыя поѣздами вообще, могутъ быть раздѣлены на три группы: а) сопротивленія на горизонтальномъ прямомъ пути, б) сопротивленія на уклонахъ и в) сопротивленія въ кривыхъ частяхъ пути.

#### а) Сопротивленія на прямомъ, горизонтальномъ пути.

При разсмотрѣннн этихъ сопротивленій, мы предположимъ, что путь содержится въ исправности и что состояніе погоды—обыкновенное, при средней лѣтней температурѣ и безъ сильнаго вѣтра.

тяги скинуто 20% на внутреннія сопротивленія паровоза). По опытамъ гг. Вильмена, Гебгардта и Дьедонне 8-ми колесные паровозы, расходовали на полезную паровую лошадь около 14 $\frac{1}{2}$  килограммовъ пара. Такимъ образомъ, сдѣланныя, при расчетѣ нашемъ, предположенія, можно принять за достаточно, въ численномъ отношеніи, точныя. Что касается до значительнаго расхода пара при впускѣ въ 0,158, то это происходитъ отъ несовершенства кулисы, какъ прибора для дѣйствія расширеніемъ пара.



Лучшими опытами надъ сопротивленіемъ поѣздовъ, могутъ считаться произведенные инженерами Восточной Французской дороги \*), на основаніи которыхъ, при смазкѣ вагонныхъ осей масломъ и при температурѣ около 15° Цельсія, для сопротивленія товарныхъ поѣздовъ (безъ паровоза и тендера), составлена слѣдующая формула:  $r = 1,65 + 0,05V$ , гдѣ  $r$  есть сопротивленіе въ килограммахъ на тонну поѣзда, а  $V$  скорость поѣзда въ километрахъ въ часъ, которая можетъ измѣняться въ предѣлахъ отъ 12 до 32 километровъ въ часъ \*\*). Слѣдовательно, если вѣсъ вагоновъ поѣзда, вмѣстѣ съ тендеромъ \*\*\*), будетъ  $Q$  тоннъ, то сопротивленіе этого поѣзда будетъ:  $Q(1,65 + 0,05V)$  килограммовъ.

Сопротивленіе паровоза на горизонтальномъ прямомъ пути мы не будемъ принимать въ соображеніе, потому что на всѣ внутреннія сопротивленія механизма (между поршнями и окружностью ведущихъ колесъ) мы уже скинули 20% съ силы тяги, что превышаетъ эти сопротивленія (по крайней мѣрѣ при впускахъ пара наиболѣе употребляемыхъ) съ прибавленіемъ къ нимъ сопротивленій катанію колесъ по рельсамъ (треніе 2-го рода колесъ паровоза).

### б) Сопротивленіе на уклонахъ.

Если назовемъ черезъ  $i$  уклонъ пути, то на поѣздѣ, двигающійся по этому уклону, кромѣ сопротивленій, проявляющихся на прямомъ, горизонтальномъ пути, будетъ дѣйствовать составляющая силы тяжести, равная  $r_1 = \pm Qi$  \*\*\*\*), при замѣненіи, по малой разности, синуса тангенсомъ; при выраженіи  $Q$  въ тоннахъ, а  $r_1$  въ килограммахъ, вмѣсто  $i$  должно подставлять число тысячныхъ уклона, наприм. при уклонахъ въ 0,010 сопротивленіе будетъ:

$$r_1 \text{ килогр.} = Q \text{ тонн} \times 1000 \times 0,010 = Q \cdot 10.$$

Паровозъ и тендеръ при движеніи по уклонамъ находятся въ тѣхъ же условіяхъ, какъ и вагоны.

### в) Сопротивленіе въ кривыхъ частяхъ пути.

Всѣ теоретическія формулы, выражающія сопротивленія поѣздовъ въ кривыхъ, совершенно неудовлетворительны, а данныхъ, выведенныхъ изъ опыта очень немного; сопротивленіе въ кривыхъ зависитъ отъ рода подвижного состава, скорости движенія, длины кривой и поѣзда, а между тѣмъ всѣ извѣстные, сдѣланные до сихъ поръ опыты не обнимаютъ всѣхъ этихъ обстоятельствъ; сравнительно большаго довѣрія заслуживаетъ формула \*\*\*\*\*), выведенная инженерами Сѣверной Австрійской, Императора Фердинанда, желѣзной дороги, статистическимъ путемъ, а не непосредственными измѣреніями силы тяги въ кривыхъ; по сравненію изнашиваемости рельсовъ на кривыхъ частяхъ этой дороги, различныхъ радіусовъ, и въ предположеніи, что эта изнашиваемость находится въ зависимости отъ размѣра силъ дѣйствующихъ на рельсы, отъ поѣзда, или наоборотъ, отъ размѣра сопротивленій, передающихся отъ рельсовъ поѣзду, была составлена слѣдующая формула сопротивленія поѣзда въ кривой части пути:

$$r_2 = r \left( 1 + \frac{290}{R} \right)$$

\*) De la résistance des trains etc. par Vuillemin, Guebard et Dieudonné, 1868. Также: Voie, Matériel roulant etc. par Ch. Couche, 1875, Tome III, стр. 599, гдѣ можно найти всѣ данныя по сопротивленію поѣздовъ.

\*\*) Въ зимнее время сопротивленіе при смазкѣ масломъ увеличивается незначительно, при смазкѣ же саломъ оно можетъ увеличиться на 50%.

\*\*\*) Мы включаемъ, для простоты расчета, въ вѣсъ поѣзда и вѣсъ тендера.

\*\*\*\*) Знакъ + соответствуетъ подъему, знакъ — соответствуетъ скату.

\*\*\*\*\*) Die Ermittlung der Curven-widerstände auf statistischem Wege von Herm. Böhme. Organ für die Fortschritte des Eisenbahnwesens, II Heft, 1875, стр. 20.



гдѣ  $g_2$  — сопротивленіе, въ килограммахъ, на тонну поѣзда, въ кривой;  $g$  — сопротивленіе, въ килограммахъ (см. выше), на тонну поѣзда, на прямомъ горизонтальномъ пути;  $R$  — радіусъ кривой, въ метрахъ; такъ что если вѣсъ поѣзда будетъ  $Q$  \*), то сопротивленіе его въ кривой будетъ:

$$Qg_2 = Q(1,65 + 0,05V)\left(1 + \frac{290}{R}\right),$$

а, слѣдов., прибавка къ сопротивленію на прямомъ горизонтальномъ пути, т. е. вліяніе кривой будетъ:

$$Q(1,65 + 0,05V)\frac{290}{R}.$$

Это выраженіе зависитъ отъ длины поѣзда (оно пропорціонально вѣсу поѣзда, а, слѣдовательно, до нѣкоторой степени и длинѣ его, потому что величина средняго вѣса единицы длины товарнаго поѣзда, почти одинакова на всѣхъ желѣзныхъ дорогахъ — также какъ и конструкція самаго товарнаго подвижнаго состава и нагрузка его), отъ скорости движенія, и отъ радіуса кривизны кривой — такъ что всѣ главныя обстоятельства движенія по кривымъ здѣсь вводятся въ расчетъ, не говоря уже о томъ, что самый способъ вывода формулы статистическимъ путемъ, равносильнъ, по числу собранныхъ данныхъ, долговременнымъ непосредственнымъ опытамъ.

Для удобства расчета можно замѣнить кривыя подъемами, увеличивающими настолько же сопротивленіе поѣзда движенію, т. е. число килограммовъ добавочнаго сопротивленія отъ кривой, на тонну поѣзда, или  $(1,65 + 0,05V)\frac{290}{R}$ , принять за число тысячныхъ, замѣняющаго подъема и прибавлять ихъ къ дѣйствительному уклону, совпадающему съ данною кривою.

Общее выраженіе сопротивленія поѣзду движенія по уклону  $i$ , съ совпадающей съ нимъ кривою радіуса  $R$ , будетъ:

$$W \text{ килогр.} = P\left[\pm i + g\left(\frac{290}{R}\right)\right] + (p + Q)\left[g\left(1 + \frac{290}{R}\right)\pm i\right]$$

гдѣ  $Q$  — вѣсъ поѣзда въ тоннахъ,  
 $P$  — вѣсъ паровоза въ тоннахъ,  
 $p$  — вѣсъ тендера въ тоннахъ,

или, замѣняя  $g$  равною величиною, т. е.  $(1,65 + 0,05V)$ , получимъ:

$$W = P\left[\pm i + (1,65 + 0,05V)\frac{290}{R}\right] + (p + Q)\left[(1,65 + 0,05V)\left(1 + \frac{290}{R}\right)\pm i\right]$$

или, наконецъ, выражая добавочное сопротивленіе отъ кривой радіуса  $R$ , т. е. величину  $(1,65 + 0,05V)\frac{290}{R}$ , числомъ тысячныхъ  $i_1$  уклона, представляющаго то же сопротивленіе, получимъ:

$$W = P(\pm i + i_1) + (p + Q)\left[(1,65 + 0,05V)\pm i + i_1\right] **)$$

Найдемъ теперь наибольшій вѣсъ поѣзда, который паровозъ можетъ перевозить при наибольшей своей силѣ тяги (равной 6654 килогр., т. е. при впускѣ пара въ 73% хода поршня и скорости 14 километровъ въ часъ), по самому трудному участку дороги, т. е. по уклону въ 0,01, при кривой радіусомъ, въ 300 сажень (640 метровъ).

Для этого случая  $i_1 = (1,65 + 0,05V)\frac{290}{R} = 1,062$  такъ что можетъ быть принято за 1, — и тогда будемъ имѣть:

$$6654 = 44(10 + 1) + (28 + Q)(2,35 + 10 + 1),$$

\*) По неимѣнію специальныхъ данныхъ относительно сопротивленія въ кривыхъ для паровоза и тендера, вѣсъ ихъ мы прибавимъ къ вѣсу  $Q$ .

\*\*) Величина  $i$  войдетъ съ  $+$  или съ  $-$ , смотря по тому, будетъ ли подъемъ или скатъ; величина же  $i_1$  всегда будетъ съ  $+$ .



откуда  $Q=434$  тонны; считая товарный нагруженный 600 пудами, вагонъ вѣсомъ, съ тарою, въ 16 тоннъ, поѣздъ вѣсомъ въ 434 тонны, или, откидывая 2 тонны, въ 432 тонны, будетъ состоять изъ 27 груженыхъ вагоновъ. Этотъ поѣздъ мы и примемъ за *наибольшій* для даннаго паровоза и даннаго профиля участка дороги.

Для всякихъ другихъ уклоновъ, кривыхъ и скоростей сопротивление этого поѣзда выразится:

$$W = 44(\pm i + i_1) + (28 + 432)(1,65 + 0,05V \pm i + i_1)$$

или  $W = 504(\pm i + i_1) + 23V + 759$  килограммовъ.

Это выраженіе можетъ быть изображено графически слѣдующимъ образомъ: разобьемъ  $W$  на двѣ части:  $W_1 = 504(\pm i + i_1)$  и  $W_2 = 23V + 759$ ; принимая  $W_1$  и  $W_2$  за ординаты а  $V$  и  $\pm i + i_1$  за абсциссы, эти выраженія представляютъ собою уравненія прямыхъ линій; измѣряя  $W_1$  и  $W_2$  по чертежу и при данныхъ  $V$  и  $(\pm i + i_1)$ , и складывая ихъ (если  $\pm i + i_1$  положительно) или вычитая меньшее, изъ большаго (если  $\pm i + i_1$  отрицательное), получимъ  $W$  сопротивление поѣзда. Здѣсь мы не будемъ, пользоваться графическимъ построениемъ, по невозможности принять достаточно большой масштабъ, необходимый для сколько нибудь точнаго опредѣленія  $W_1$  и  $W_2$ .

#### 4. Опредѣленіе скоростей движенія поѣзда.

Какъ видно изъ таблицы расхода пара на километръ пути (помѣщенная выше таблица  $V$ ), этотъ расходъ, при одной и той же степени расширенія пара, уменьшается вмѣстѣ съ увеличеніемъ скорости,— что впрочемъ, и понятно, такъ какъ, тѣмъ больше скорость, тѣмъ меньшую часть валоваго расхода пара составляютъ утечки пара черезъ поршень, но тѣмъ не менѣе выгодно вмѣстѣ съ увеличеніемъ сопротивленій (не зависящихъ отъ скорости, какъ напр. подъемы) уменьшать до нѣкоторой степени скорость (въ видахъ уменьшенія тѣхъ сопротивленій, которыя зависятъ отъ скорости), для того чтобы увеличить расширеніе пара и, слѣдовательно, экономизировать топливо.

Для горизонтальныхъ участковъ дороги и скатовъ, наибольшая возможная величина скорости обуславливается еще и другими соображеніями, именно; во-первыхъ: непригодностью товарнаго подвижнаго состава для большихъ скоростей и, во-вторыхъ: необходимостью имѣть возможность остановить во-время поѣздъ по путевому сигналу, предварающему о какомъ либо препятствіи.

Обыкновенно считаютъ, что нельзя допустить болѣе 3-хъ оборотовъ ведущихъ колесъ паровоза въ секунду; при большемъ числѣ оборотовъ движущій механизмъ скоро приходитъ въ разстройство. Диаметръ колесъ разсматриваемаго паровоза 1,3 м. слѣдовательно путь, пробѣгаемый паровозомъ въ часъ, будетъ:

$3 \cdot \pi D \cdot 3600 = 3 \times 3600 \times 1,3 \times 3,14 = 44085,6$  метровъ или 44 километра. Для большей увѣренности не слѣдуетъ допускать скорость свыше 40 километровъ въ часъ, тѣмъ болѣе, что и товарные вагоны, имѣющіе сравнительно жесткія рессоры и содержимые вообще посредственно, не могутъ выдерживать большихъ скоростей.

Обратимся къ другому условію движенія—возможности остановить во время поѣздъ по путевому сигналу. Эта возможность остановить поѣздъ на опредѣленномъ разстояніи отъ препятствія, при данномъ вѣсѣ поѣзда и скорости, зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ: 1) имѣющихся, въ распоряженіи поѣздной и паровозной прислуги, способовъ остановки поѣзда (тормазы и контръ паръ) и 2) разстоянія, на которомъ, выставляется сигналъ прикрывающій препятствіе, отъ этого послѣдняго.

По нашимъ правиламъ о числѣ тормазовъ въ поѣздѣ (§ 37 постановленія о правилахъ движенія по желѣзнымъ дорогамъ, утвержденныхъ Министромъ Путей Сообщенія 30 мая 1874 г.), въ товар



ныхъ поѣздахъ при уклонахъ въ 0,01, должно имѣть возможность затормозить одну пару колесъ изъ семи \*).

При составѣ нашего поѣзда изъ 27 груженыхъ вагоновъ, въ числѣ ихъ должно, слѣдовательно имѣть 4 вагона тормазныхъ.

Положеніемъ о сигналахъ, утвержденнымъ Министромъ Путей Сообщенія 31 января 1872 года (§ 20) установлено, что «препятствіе на пути, требующее немедленной остановки поѣзда, ограждается, съ обѣихъ сторонъ, соответствующими сигналами, въ разстояніи не менѣе 300 сажень» (640 метровъ); при этомъ не сдѣлано различія въ установкѣ сигналовъ на горизонтальномъ пути и на уклонахъ. На французскихъ желѣзныхъ дорогахъ приняты слѣдующія правила: на желѣзныхъ дорогахъ изъ Парижа въ Лионъ и къ Средиземному морю, Восточной и Южной, путевые сигналы ставятся на подъемахъ большихъ 0,005 \*\*), въ разстояніи 800 метровъ; на подъемахъ и скатахъ отъ 0 до 0,005, въ разстояніи 1000 метровъ, на скатахъ превышающихъ 0,005 и до 0,008—въ разстояніи 1200 метровъ и наконецъ на скатахъ, превышающихъ 0,008 въ разстояніи 1500 метровъ. На Сѣверной французской желѣзной дорогѣ сигналы ставятся не принимая въ соображеніе профила, въ разстояніи 1000 метровъ а на Орлеанской и Западной—въ разстояніи 800 метровъ, тоже безразлично \*\*\*).

Опредѣлимъ теперь, предѣльныя скорости, которыя можно допустить на скатахъ, при условіи, чтобы поѣздъ, будучи заторможенъ, не дошелъ до препятствія, прикрытаго сигналомъ, постановленнымъ, согласно нашимъ правиламъ, на разстояніи 300 сажень (640 метр.), и для этого предварительно рассмотримъ ускоренное движеніе поѣздовъ, когда сопротивленіе и движущія силы не равны между собою.

Общее уравненіе движенія поѣзда будетъ:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = \Sigma F - \Sigma W$$

гдѣ  $m$  масса поѣзда,  $\Sigma F$  сумма всѣхъ силъ движущихъ  $\Sigma W$  сумма всѣхъ сопротивленій, дѣйствующихъ на поѣздъ,  $v$  скорость въ данный моментъ, въ метрахъ въ секунду,  $t$  время.

Сопротивленія, дѣйствующія на рассматриваемый поѣздъ, какъ мы видѣли выше, имѣютъ выраженіемъ  $W = 504(+i + i_1) + 23V + 759$  килограммовъ; первый членъ этого выраженія, зависящій отъ уклона, можетъ быть или движущею силою или сопротивленіемъ, смотря потому войдетъ ли въ него  $i$  съ  $+$  (подъемъ) или съ  $-$  (скатъ). Дѣйствіе паровоза на поѣздъ, можетъ выразиться, или силою тяги (когда паровозъ работаетъ), или сопротивленіемъ механизма паровоза (при движеніи по крутому скату—на которомъ регуляторъ будетъ закрытъ); кромѣ того, если часть вагоновъ поѣзда и тендеръ будутъ заторможены (при этомъ конечно регуляторъ долженъ быть закрытъ), то къ сопротивленію механизма паровоза, прибавится сопротивленіе заторможенныхъ колесъ тендера и вагоновъ \*\*\*\*).

Называя черезъ  $F_0$  сумму силъ, проявляющихся отъ дѣйствія паровоза а также отъ заторможенныхъ колесъ тендера и вагоновъ (которая будетъ, или сила тяги паровоза, или сопротивленія механизма паровоза и заторможенныхъ колесъ, смотря по обстоятельствамъ движенія) получимъ что:

$$\Sigma F - \Sigma W = \pm F_0 \mp 504i - 504i_1 - 23V - 759$$

\*) Тѣ же правила, относительно тормазовъ, установлены въ Германіи; на французскихъ дорогахъ число тормазовъ въ поѣздахъ меньше, чѣмъ въ Германіи и у насъ.

\*\*) Дороги въ два пути.

\*\*\*) Détermination du nombre minimum des freins à introduire dans les trains.—Nôte par M. Thoyot, inspecteur général des ponts et chaussées. Annales des ponts et chaussées, 1874 Cahier 12.

\*\*\*\*) Контрь-пара мы не принимаемъ въ расчетъ, потому что для остановки поѣздовъ онъ долженъ составлять только вспомогательное средство.



замѣняя для однородности  $V$ , равною ей величиною  $3,6 v$  (ибо численныя величины  $V$ , обозначенныя въ километрахъ въ часъ равняются  $V \frac{3600}{1000} = 3,6 v$ , гдѣ  $v$  скорость въ секунду въ метрахъ) а также исключая членъ  $- 504i$ , относящійся до кривыхъ — обстоятельства случайнаго, которое при могущей встрѣтиться надобности, всегда можетъ быть введено въ расчетъ, соответственнымъ увеличеніемъ или уменьшеніемъ  $i$ , будемъ имѣть уравненіе:

$$m \cdot \frac{dv}{dt} = \pm F_0 \mp 504i - 3,6 \times 23v - 759 \dots (a)$$

$$\text{гдѣ } m = \frac{504 \times 1000}{9,81} = 51.376$$

Интегрируя это уравненіе, въ которомъ  $F_0$  и  $i$  величины постоянныя, для данныхъ обстоятельствъ движенія, между предѣлами отъ  $v_1$  метровъ начальной скорости движенія поѣзда и  $t_1 = 0$ , до  $v_2$  метровъ, конечной скорости движенія поѣзда, соответствующей истекшему времени  $t_2$  секундъ, будемъ имѣть слѣдующее выраженіе для  $t_2$ : т. е. число секундъ времени, въ теченіи котораго, скорость движенія измѣнилась изъ  $v_1$  въ  $v_2$ :

$$t_2 = \frac{51376}{23,3,6} \text{ loghyp } \left[ \frac{\pm F_0 \mp 504i - 23,3,6v_1 - 759}{\pm F_0 \mp 504i - 23,3,6v_2 - 759} \right] \dots \dots \dots (I)$$

Помножая обѣ части уравненія (a) на  $dx$ , элементъ пройденнаго поѣздомъ пути, причемъ  $\frac{dx}{dt} = v$  получимъ уравненіе

$$\frac{m \cdot dx \cdot dv}{dt} = m \cdot v \cdot dv = [\pm F_0 \mp 504i - 23,3,6v - 759] dx$$

Интегрируя которое отъ  $v_1$  до  $v_2$  и отъ  $x = 0$  до  $x = x_2$ , равному пути пройденному поѣздомъ пока скорость поѣзда измѣнилась изъ  $v_1$  въ  $v_2$ , т. е. въ теченіи времени  $t_2$ , опредѣлимъ выраженіе для  $x_2$ :

$$x_2 = \frac{51376}{3,6,23} \left[ (v_1 - v_2) + \frac{[\pm F_0 \mp 504i - 759]}{3,6,23} \text{ loghyp } \left( \frac{\pm F_0 \mp 504i - 759 - 3,6,23v_1}{\pm F_0 \mp 504i - 759 - 3,6,23v_2} \right) \right] \dots \dots (II)$$

Въ выраженіяхъ I и II можно опять замѣнить  $v_1$  и  $v_2$  равными имъ величинами  $\frac{V_1}{3,6}$  и  $\frac{V_2}{3,6}$ .

Примѣняя выраженія I и II къ случаю остановки поѣзда, двигающагося по скатамъ разныхъ уклоновъ, надо положить  $v_2 = 0$  и вмѣсто  $F_0$  подставить сумму сопротивленій механизма паровоза и заторможенныхъ колесъ тендера и 4-хъ вагоновъ; сопротивленіе механизма паровоза идущаго съ закрытымъ регуляторомъ, можно принять въ 20 килограммовъ на тонну вѣса и коэффициентъ тренія колесъ о колодки тормазовъ принять въ 0,104 \*) тогда будемъ имѣть:

$F_0 = 44 \cdot 20 + (4 \cdot 16 \cdot 1000 + 28 \cdot 1000) 0,104 = 10448$  килограммовъ \*\*). Для опредѣленія времени остановки надо замѣтить, что между сигналомъ (свистками паровоза), поданнымъ машинистомъ, замѣтившимъ знакъ остановки и моментомъ прикосновенія тормазныхъ колодокъ къ окружностямъ колесъ, проходитъ извѣстное время, которое нельзя считать менѣе 15 секундъ, такъ что къ числу секундъ опредѣляемыхъ формулою I, надо прибавлять 15 сек. а къ пути, проходимому поѣздомъ, отъ начала торможенія до полной остановки, протяженіе пути, проходимое поѣздомъ при начальной скорости  $v_1$ , въ теченіи 15 секундъ, т. е.

$$\left. \begin{aligned} t_0 &= t_2 + 15 \text{ сек} \\ x_0 &= x_2 + 15 \cdot v_1 \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (b)$$

\*) Коэффициентъ этотъ принять, во Франціи, комисіей по постановленіямъ о желѣзныхъ дорогахъ; въ дѣйствительности этотъ коэффициентъ гораздо больше (до 0,128 и даже до 0,192—по опытамъ инженеровъ французской восточной дороги)—но какъ здѣсь дѣло идетъ о безопасности движенія, то слѣдуетъ принять меньшій коэффициентъ.

\*\*) Изъ  $F_0$  можно было бы, при подставкѣ въ уравненія I и II, вычесть сопротивленія, представляемыя тендеромъ и 4-мя тормазными вагонами, при опущенныхъ тормазгахъ — но мы этого не дѣлаемъ, потому что не предполагаемъ чтобы колеса были на глухо заторможены (т. е. скользили по рельсамъ), чего слѣдуетъ избѣгать.



Подставляя въ выраженіи I и II,  $v_2 = 0$  и  $F_0 = -10448$  кил. получимъ для  $t_0$  и  $x_0$  слѣдующія величины, при различныхъ  $i$  и  $v_1$  (или  $V_1$  въ километрахъ въ часъ):

При $V_1 = 30$ килом. въ часъ и $i = +10$ (скать въ 0,01)	$t_0 = 66 + 15 = 81$ сек.;	$x_0 = 272 + 125 = 397$ метр. = 186 саж.
» $V_1 = 35$ » » $i = +8$	$t_0 = 66 + 15 = 81$ » ;	$x_0 = 317 + 146 = 463$ » » 217 »
» $V_1 = 40$ » » $i = +6$	$t_0 = 66 + 15 = 81$ » ;	$x_0 = 366 + 167 = 533$ » » 250 »
» $V_1 = 40$ » » $i = +5$	$t_0 = 62 + 15 = 77$ » ;	$x_0 = 348 + 167 = 515$ » » 242 »
» $V_1 = 40$ » » $i = +0$	$t_0 = 49 + 15 = 64$ » ;	$x_0 = 261 + 167 = 428$ » » 201 »

Принимая въ соображеніе, что поѣздъ долженъ окончательно остановиться, не добѣжавъ вплоть до препятствія, а на нѣкоторомъ отъ него разстояніи, примѣрно хоть на  $\frac{1}{3}$  всего разстоянія между сигналомъ и препятствіемъ, т. е. около 100 сажень \*)—можно было бы, руководствуясь вышеозначенными цифрами, назначить слѣдующія предѣлы скоростей: въ 30 километровъ въ часъ на скатахъ въ 0,009 и 0,01 и въ 35 километровъ на меньшихъ; хотя на горизонтальномъ пути и можно допускать скорость въ 40 километровъ въ часъ, но для достиженія этой скорости нужна уже работа паровыхъ машинъ паровоза, при чемъ, въ такой большой скорости для товарныхъ поѣздовъ не представляется надобности \*\*).

Для большей безопасности мы впрочемъ примемъ, что на всѣхъ скатахъ скорость не должна превышать 30 километровъ въ часъ.

При движеніи поѣзда по подъемамъ можно имѣть въ виду двѣ цѣли: 1) исключительно сбереженіе топлива т. е. невыгоднѣйшее его употребленіе и 2) сбереженіе времени, если товарное движеніе имѣетъ сильное развитіе на дорогѣ.

Въ первомъ случаѣ нормальныя скорости, на различныхъ частяхъ пути, опредѣляемъ по формулѣ:

$$F = W = 504i + 23V + 759.$$

выбирая для  $W$  и  $V$  такія значенія, чтобы расходъ пара (а слѣд. и топлива) на километръ пути былъ наименьшимъ.

Для этого, придавая различныя значенія  $i$  и  $V$ , опредѣляемъ  $W$ , и по кривой  $F$  (кривая AA) отыскиваемъ соотвѣтствующую точку на кривой  $\frac{S}{V}$  (кривая BB) соединяемъ эти точки, для одного и того же  $i$ , кривою (кривая cc) и опредѣляемъ, лежащую ниже всѣхъ; она и даетъ намъ невыгоднѣйшую скорость  $V$  для даннаго  $i$ ; \*\*\*)-а пересѣченіе этой кривой, съ кривою для  $V$  max (кривая dd) даетъ намъ наибольшую, возможную, скорость на данномъ подъемѣ, причемъ скоростями свыше 30 километровъ въ часъ, мы не будемъ пользоваться. Такимъ образомъ по чертежу находимъ цифры, составляющія слѣдующую таблицу: \*\*\*\*)

\*) Здѣсь мы предполагаемъ самую невыгодную случайность—именно что машинистъ замѣтитъ сигналъ только подойдя къ нему—что впрочемъ нерѣдко случается на дѣлѣ.

\*\*) Такая скорость впрочемъ можетъ быть допускаема въ исключительныхъ случаяхъ, напр. для разгона на подъемѣ, какъ увидимъ ниже.

\*\*\*) Потому что ординаты кривыхъ cc, выражаютъ расходъ пара на километръ пути  $\left(\frac{S}{V}\right)$ , для даннаго, постояннаго,  $i$  и различныхъ величинъ  $V$ . Наименьшая ордината будетъ соотвѣтствовать невыгоднѣйшей скорости.

\*\*\*\*) Вычисляя расходъ пара на километръ пути по формулѣ  $S = AV + B$  (смъ таблицу  $V$ ) и прибавляя 10% на упосимую воду въ капельномъ видѣ, а также вычисляя теоретическій расходъ пара (какъ дѣлали инженеры Восточной французской



Таблица VII.

i	V	$\frac{S}{V}$	$\frac{l_1}{l}$
11	14	462 <sup>1/2</sup>	0,725
10	15,5	414	0,648
9	16	366	0,569
8	17	321	0,495
7	17	287	0,435
6	17	253	0,376
5	17	219 <sup>1/2</sup>	0,318
4	20	193	0,278
3	20	171	0,238
2	20	149 <sup>1/2</sup>	0,198
1	20	128	0,158
0	20	111	0,128

При достиженіи второй цѣли, т. е. сбереженія времени, можно задаваться, не выходя изъ допускаемыхъ практикою предѣловъ, скоростями движенія, имѣя въ виду достигъ определенной средней скорости; въ этомъ случаѣ нужно идти ощупью, измѣняя величины скоростей, которыми задались \*), если средняя скорость не выходитъ согласно съ предположеніемъ. Надо замѣтить что средняя скорость должна быть, на линияхъ съ большими предѣльными уклонами, больше, чѣмъ на линияхъ съ малыми предѣльными уклонами, потому что на подъемахъ предѣльнаго уклона, скорость (для даннаго паровоза), должна имѣть постоянную, определенную величину, соответствующую наибольшей силѣ тяги, каковъ бы уклонъ не былъ, а между тѣмъ на линияхъ съ крутыми подъемами, всегда встрѣчаются и крутые скаты, на которыхъ можетъ быть допущена скорость до 30 и болѣе километровъ въ часъ.

Для практическаго приложенія вычисляемъ подобныя же величины и для промежуточныхъ значеній i, сообразно съ измѣненіемъ сосѣднихъ величинъ; также определяемъ необходимую силу тяги,  $F=W$ , по формулѣ:

$$W = 504i + 23 V + 759$$

дороги при своихъ опытахъ) по формулѣ:  $S_1 = \frac{d^2 l}{D} 1000V \left(\frac{l_1}{l}\right) \delta_1$ , при найденныхъ скоростяхъ, получимъ слѣд. таблицу:

$\frac{l_1}{l}$	V	S	$S_1$	$\frac{S}{S_1}$
0,158	20	2819	1713	1,64
0,300	18	4100	2938	1,39
0,500	17	6013	4608	1,30
0,730	14	7171	5541	1,29

Изъ которой видно, что потеря воды, принимаемая въ нашемъ расчетѣ, довольно близка къ определенной опытомъ.

\*) Въ этомъ случаѣ выгодно увеличивать скорости на подъемахъ малаго уклона и горизонтальныхъ частяхъ пути когда паръ дѣйствуетъ при большихъ расширеніяхъ, сохраняя наимыгоднѣйшія величины скоростей на крутыхъ подъемахъ.



и такимъ образомъ получаемъ таблицу VIII.

Т а б л и ц а V I I I .

$i$	$V$	$\frac{S}{V}$	$F=W$	$\frac{l_1}{l}$
11	14	462 <sup>1/2</sup>	6625	0,725
10,5	14,5	437	6384,5	0,685
10	15,5	414	6155,5	0,648
9,5	15,5	390	5903,5	0,606
9	16	366	5663	0,569
8,5	16,5	342	5422,5	0,530
8	17	321	5182	0,495
7,5	17	305	4930	0,465
7	17	287	4678	0,435
6,5	17	270	4426	0,405
6	17	253	4174	0,376
5,5	17	239	3922	0,345
5	17	219 <sup>1/2</sup>	3670	0,318
4,5	18,5	205	3452,5	0,298
4	20	193	3235	0,278
3,5	20	181	2983	0,258
3	20	171	2731	0,238
2,5	20	161	2479	0,218
2	20	149 <sup>1/4</sup>	2227	0,198
1,5	20	139	1975	0,178
1	20	128	1723	0,158
0,5	20	119	1471	0,140
0	20	111	1219	0,128

Здѣсь:  $i$  — подъемъ въ тысячныхъ

$V$  — скорость въ километрахъ въ часъ

$\frac{S}{V}$  — расходъ пара на километръ пути (въ килограммахъ)

$F=W$  — необходимая сила тяги (въ килограммахъ)

$\frac{l_1}{l}$  — степень выпуска пара \*).

Опредѣлимъ теперь по уравненіямъ I и II величины  $t_2$  и  $x_2$  при  $i = 0$  и  $V_1 = 0$ , что соотвѣтствуетъ случаю отхода поѣзда со станціи, по горизонтальной площадкѣ.

Величина  $F$  въ этомъ случаѣ будетъ переменная, такъ какъ машинистъ будетъ постепенно открывать регуляторъ, но для упрощенія разсчета мы примемъ ее за постоянную и положимъ что она равна 5233 килогр., что соотвѣтствуетъ 50% выпуска пара (довольно большая, средняя, величина выпуска пара

\*) Если нужно управлять рычагомъ съ зубчатою дугою, то для  $\frac{l_1}{l}$  слѣдуетъ брать ближайшія значенія, соотвѣтствующія зубцамъ дуги.



необходима для того, чтобы поѣздъ возможно скорѣе приобрѣлъ желаемую скорость). Подставляя  $V_2=20$  и затѣмъ 30, находимъ:

Т а б л и ц а IX.

$V_2$	20	30
$t_2$ сек.	67	104
$x_2$ метровъ	190	445

### 5. Пользованіе живою силою, приобретенною поѣздомъ на скатахъ.

Вслѣдствіе живой силы, приобретаемый поѣздомъ на скатахъ, онъ можетъ проходить нѣкоторыя протяженія слѣдующихъ за скатами подъемовъ, или горизонтальныхъ участковъ пути, безъ дѣйствія пара въ цилиндрахъ и, слѣдовательно, безъ расходванія топлива; поэтому это обстоятельство нужно ввести въ расчетъ, что мы сдѣлаемъ, предполагая, что двигавшійся съ извѣстною скоростью, по скату, при закрытомъ регуляторѣ, паровозъ, сойдя со ската, продолжаетъ двигаться съ уменьшающеюся скоростью по горизонтальному участку или подъему, тоже съ закрытымъ регуляторомъ, до того момента, въ который скорость движенія сдѣлается равной, принятой за наивыгоднѣйшую, на данномъ участкѣ профиля, скорости; тогда регуляторъ паровоза вновь открывается и кулисса ставится, въ соответствующее необходимой силѣ тяги, положеніе. На дѣлѣ, конечно, такая точность въ управленіи паровозомъ не осуществима, но весьма желательно, чтобы дѣйствительное движеніе поѣздовъ, по возможности, было близко къ этимъ условіямъ.

Кромѣ пользованія живою силою поѣзда отъ скатовъ, можно еще нѣсколько уменьшить расходъ пара, разгоня поѣзда до наибольшей, дозволяемой, скорости, при всходѣ на подъемъ, — средство, которымъ машинисты часто пользуются вообще для преодоленія подъемовъ; хотя, приэтомъ, выигрываемая живая сила (замѣняющая часть работы пара при движеніи по подъему), для всхода на подъемъ, равна израсходованной, на увеличеніе скорости движенія, работѣ пара, но какъ, на горизонтальныхъ участкахъ пути или скатахъ малаго уклона, можно достигъ большихъ скоростей, при небольшемъ впускѣ пара въ цилиндры, т. е. при выгоднѣйшемъ его употребленіи, сравнительно съ работою на подъемѣ, гдѣ впускъ пара по необходимости бываетъ великъ, то разгонъ поѣздовъ можетъ принести нѣкоторое сбереженіе топлива.

Разгонъ поѣздовъ мы принимать въ соображеніе не будемъ, какъ по сложности расчетовъ, такъ и потому, что сбереженія топлива, отъ этого проистекающія, незначительны; эти уменьшенія расхода топлива, зависятъ отъ большаго или меньшаго искусства машинистовъ въ управленіи паровозами и могутъ быть достигаемы назначеніемъ премій за сбереженіе топлива, противъ нормъ расходванія.

При разсмотрѣннн пользованія живою силою поѣзда, мы должны разрѣшить два вопроса: 1) при данной начальной скорости  $V_1$  поѣзда, двигающагося при закрытомъ регуляторѣ паровоза, по скату извѣстнаго уклона, опредѣлить  $x_2$ , протяженіе пути, пройдя который, поѣздъ приобретаетъ скорость  $V_2$ , а также время  $t_2$  сек. прохожденія этого пути и 2) при данной начальной скорости  $V_1$ , которую поѣздъ имѣетъ при подошвѣ подъема извѣстнаго уклона, опредѣлить  $x_2$ , путь пройденный поѣздомъ, тоже при закрытомъ регуляторѣ, до момента, въ который скорость его будетъ равна извѣстной величинѣ  $V_2$ , а также время  $t_2$  сек. прохожденія этого пути.

Для разрѣшенія этихъ вопросовъ, мы воспользуемся выраженіями I и II, въ которыя, вмѣсто  $F_0$ , подставимъ величину сопротивленій паровоза, т. е.  $44 \times 20 = 880$  килограммовъ, и сдѣлавъ сокращенія получимъ:



$$t_2 = 620,48 \operatorname{loghyp} \left( \frac{\mp 504i - 82,8v_1 - 1639}{\mp 504i - 82,8v_2 - 1639} \right)$$

$$x_2 = 620,48 \left[ (v_1 - v_2) + \left( \frac{\mp 504i - 1639}{82,8} \right) \operatorname{loghyp} \left( \frac{\mp 504i - 82,8v_1 - 1639}{\mp 504i - 82,8v_2 - 1639} \right) \right]$$

Эти формулы приведемъ въ болѣе удобномъ для вычисленій виду, именно замѣнимъ  $v_1$  и  $v_2$  величинами ихъ выраженными въ  $V_1$  и  $V_2$ , а также Неперовы логариомы замѣнимъ обыкновенными; тогда будемъ имѣть:

$$t_2 = 1428,75 \operatorname{log} \left( \frac{\mp 504i - 23V_1 - 1639}{\mp 504i - 23V_2 - 1639} \right) \dots \dots \dots \text{III.}$$

$$x_2 = 172,36 \left[ V_1 - V_2 + \frac{\mp 504i - 1639}{9,9887666} \operatorname{log} \left( \frac{\mp 504i - 23V_1 - 1639}{\mp 504i - 23V_2 - 1639} \right) \right] \dots \dots \text{IV.}$$

Тамъ, гдѣ въ этихъ формулахъ двойной знакъ  $\mp$ , для скатовъ надо брать нижній знакъ.

Замѣтимъ, что для  $i = 4$  и до 0, скорость поѣзда, при движеніи съ закрытымъ регуляторомъ, уменьшается постепенно, потому что логариомическій членъ при  $V_2 > V_1$  получается отрицательнымъ. Въ виду того, что у насъ не имѣется измѣреній для степеней впуска пара меньшихъ 0,158, мы будемъ рассматривать скаты уклономъ менѣе 4,5, какъ горизонтальные площадки.

Формулы (III) и (IV) не удобны для непосредственнаго опредѣленія  $V_2$  и  $t_2$  и для рѣшенія вопросовъ воспользуемся таблицей X, въ которой по этимъ формуламъ опредѣлены  $t_2$  и  $x_2$  при различныхъ  $V_1$  и  $V_2$ .

Въ расчетѣ нашемъ, для упрощенія его, мы будемъ принимать, что если поѣздъ приходитъ въ подшивѣ подъема со скоростью, которая больше наивыгоднѣйшей для даннаго  $i$ , то регуляторъ закрываемъ и, когда скорость сдѣлается равною наивыгоднѣйшей, снова его открываемъ, поставивъ при этомъ кулису въ соответственное положеніе.

Понятно, что на дѣлѣ предположеніе это неосуществимо; кромѣ того и самыя сбереженія отъ исполненія этого не могутъ быть значительны; если регуляторъ и оставить открытымъ, то скорость движенія встаети очень быстро уменьшится и чтобы поддерживать наивыгоднѣйшую скорость придется почти тотчасъ же перевести кулису на болѣеій впускъ пара.

Если поѣздъ приходитъ на площадку со скоростью болѣею 20 вилом., то регуляторъ закрывается, и  $V_2$  и  $t_2$  находимъ по табл. XI, гдѣ  $t_2$  и  $x_2$  вычислены такъ же, какъ и для таблицы X.

Таблица X.

i	С п у с к з ъ п с с н а т у																				
	$V_1$	20											21	22	23	24	25	26	27	28	29
	$V_2$	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30									
-10	$t_2$	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	46	41	36	31	26	21	16	10	5	
	$x_2$	2	57	88	120	155	191	228	268	309	352	324	295	264	231	197	161	123	84	43	
-9,5	$t_2$	5	11	16	22	27	33	38	44	50	56	50	45	39	34	28	23	17	11	16	
	$x_2$	30	62	96	132	170	209	250	294	339	386	356	323	290	254	217	177	136	93	47	
-9	$t_2$	6	12	18	24	30	36	42	49	55	61	56	50	44	38	31	25	19	13	16	
	$x_2$	33	69	106	146	188	231	277	325	376	428	395	359	322	282	241	197	151	103	53	
-8,5	$t_2$	7	13	20	27	33	40	47	55	62	69	62	56	49	42	35	28	21	14	7	
	$x_2$	37	77	119	163	210	259	311	365	421	481	444	404	362	318	271	222	170	116	59	
-8	$t_2$	7	15	23	30	38	46	54	62	70	79	71	64	56	48	41	33	25	17	8	
	$x_2$	42	87	135	185	238	293	353	415	480	548	506	461	413	363	310	254	195	133	68	



i	С П У С К Ъ П О С К А Т У																			
	V <sub>1</sub>	20										21	22	23	24	25	26	27	28	29
	V <sub>2</sub>	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	30								
- 7,5	t <sub>2</sub>	8	17	26	35	44	53	62	72	81	91	83	74	65	56	47	38	29	19	10
	x <sub>2</sub>	49	100	155	214	275	340	409	481	557	637	558	537	482	423	362	297	228	156	80
- 7	t <sub>2</sub>	10	20	31	41	52	63	74	85	97	109	99	89	78	68	57	46	35	23	12
	x <sub>2</sub>	57	118	183	253	326	403	486	572	664	761	703	642	577	508	435	357	275	188	97
- 6,5	t <sub>2</sub>	12	24	37	50	63	76	90	104	118	132	120	108	95	83	70	57	43	29	15
	x <sub>2</sub>	65	142	220	304	392	487	587	693	806	926	857	784	706	622	533	439	339	232	117
- 6	t <sub>2</sub>	16	32	48	64	82	100	119	138	157	177	162	146	129	112	95	77	59	40	20
	x <sub>2</sub>	89	185	287	394	516	643	778	923	1078	1243	1154	1058	956	846	727	601	465	320	165
- 5,5	t <sub>2</sub>	22	44	67	91	116	142	169	198	228	259	238	215	192	168	143	117	90	61	31
	x <sub>2</sub>	123	256	401	559	729	914	1109	1333	1569	1827	1704	1569	1425	1268	1097	913	712	494	257
- 5	t <sub>2</sub>	35	72	111	153	198	246	299	356	420	490	456	419	379	337	292	244	191	134	71
	x <sub>2</sub>	198	419	665	939	1245	1588	1975	2415	2870	3494	3296	3075	2830	2556	2250	1906	1519	1067	578
- 4,5	t <sub>2</sub>	91	197	326	488	708	1052	1893												
	x <sub>2</sub>	517	1149	1956	3016	4516	6960	13172												

Т а б л и ц а X I .

Движение съ приобретённой скоростью по горизонтальной площадкѣ																													
V <sub>1</sub>	21	22	23	24	25	26	27																						
V <sub>2</sub>	20	20	21	20	21	22	20	21	22	23	20	21	22	23	24	20	21	22	23	24	25	20	21	22	23	24	25	26	
t <sub>2</sub>	7	13	7	20	13	7	27	20	13	7	33	26	20	13	6	40	33	26	19	13	6	46	39	32	26	19	13	6	
x <sub>2</sub>	39	79	40	120	81	41	162	124	84	43	207	168	128	87	44	252	213	178	133	89	45	299	261	220	179	136	92	47	
V <sub>1</sub>	28							29							30							20	30						
V <sub>2</sub>	20	21	22	23	24	25	26	27	20	21	22	23	24	25	26	27	28	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	0	
t <sub>2</sub>	52	45	39	32	25	19	13	6	58	52	45	38	32	25	19	13	6	64	58	51	44	38	31	25	19	12	6	153	218
x <sub>2</sub>	347	308	268	227	184	140	95	48	396	360	318	276	228	189	144	97	49	446	408	368	327	284	240	194	148	100	50	409	855

Въ таблицѣ X уклоны скатовъ потому взяты съ 0,0045, что на скатѣ 0,004 наибольшая скорость, которую поѣздъ можетъ приобрести, свободно скатываясь, не превзойдетъ 16<sup>1/2</sup> километровъ въ часъ \*); а при скатѣ въ 0,0045 не превзойдетъ 27 километровъ въ часъ.

При составленіи выраженій t<sub>2</sub> и x<sub>2</sub> для движенія по скатамъ или восхода на подъемы, мы предполагаемъ, что вся масса поѣзда сосредоточена въ одной точкѣ—что не измѣнило бы вида выраженій, при движеніи по уклонамъ, неопредѣленнаго протяженія; въ дѣйствительности же, при восходѣ напр. на подъемъ, когда одна часть поѣзда находится уже на подъемѣ, другая часть еще движется по горизонтальной площадкѣ (такъ какъ уклоны противоположныхъ направленій вообще раздѣляются площадками), причѣмъ силы, дѣйствующія на эти двѣ части поѣзда, различны; хотя и можно ввести эти об-

\*) Какъ видно изъ уравненія:

$$504i - 23V - 759 - 44 \times 20 = 0, \text{ при подставкѣ } i = 4 \text{ и } 4,5.$$



стоятельства въ расчетъ, по они имѣютъ незначительное вліяніе, а притомъ приводятъ къ весьма сложнымъ и неудобнымъ выраженіямъ для  $t_2$  и  $x_2$  и потому мы ограничимся вышеизложеннымъ.

Если выигрышъ въ скорости движенія нужнѣе, чѣмъ сбереженіе топлива, то регуляторъ закрывается только тогда, когда скорость  $V$  начинаетъ переходить за допускаемую безопасностью (30 кил.) и слѣдовательно на подъема паровозъ будетъ всходить съ *открытымъ* регуляторомъ и соотвѣтственно уклону установленной кулиссою, пользуясь въ то же время пріобрѣтенною живою силою.

Въ этомъ случаѣ приходится пользоваться уравненіями (I и II), подставляя въ нихъ вмѣсто  $F_0$  соотвѣтствующее данному  $i$  значеніе  $F$ .

Тогда, при данномъ протяженіи  $x_2$  подъема и начальной скорости  $V_1$ , надо будетъ опредѣлить время прохожденія  $t_2$  и конечную скорость  $V_2$ ; для этого въ уравненія (I и II) подставляемъ послѣдовательно значенія  $V_2=V_1-1$ ,  $V_1-2$ ,  $V_1-3$  и т. д., и опредѣляемъ соотвѣтствующія  $t_2$  и  $x_2$  до тѣхъ поръ, пока не получимъ значенія  $x_2$ , близкаго къ протяженію разсматриваемаго подъема.

Для примѣра возьмемъ участокъ Оренбургской желѣзной дороги между станціями Смышляевка и Студенцы. Выписываемъ съ продольнаго профиля по порядку прямыя и кривыя, разбивая ихъ на части, соотвѣтственно различнымъ уклонамъ, и переводимъ сажени въ метры. Вычисляемъ для кривыхъ  $i_1 = (1,65 + 0,05V) \frac{290}{R}$ , гдѣ для  $V$  беремъ изъ табл. VIII величину, соотвѣтствующую уклону  $i$  (причемъ скорость на скатахъ полагаемъ = 30 килом.). Затѣмъ находимъ  $i = \pm i' + i_1$ , гдѣ  $i'$  уклонъ въ тысячныхъ, причемъ дроби меньшія  $1/2$  принимаемъ за  $1/2$ , а дроби—большія  $1/2$  за 1; наконецъ комбинируемъ незначительныя, или мало разнящіяся по уклону  $i$ , протяженія съ сосѣдними и такимъ образомъ получимъ слѣдующую таблицу:

Таблица XII.

№№ верствъ отъ станціи Батраки	Въ саженьяхъ			Уклонъ	Въ метрахъ			$i_1$	$i$	Комбинація	
	Прямыя	Кривыя			Прямыя.	Кривыя				Протяженіе въ метрахъ	$i$
		длина	радіусъ			длина	радіусъ				
Ст. Смышляевка.											
135	446			0	952				0	952	0
		20	300			43	640	1,43	1,5	649	11
136		284		+ 0,01		606		1,09	11		
	25			0	53				0	874	10
137	385			+ 0,01	821				10		
		413				881			11	1365	11
138	62				132				10		
		165				352			11		
	125			0	267				0	267	0
	105			+ 0,01	224				10	380	10,5
		73				156			11		
139	105			0	224				0	316	0,5
		43	500			92	1067	0,9	1		
		54		+ 0,01		115		0,63	10,5		
	159				339				10	1493	10,5
		132				282			10,5		
140	267				569				10		
		88	1000			188	2134	0,32	10,5		



№№ веретъ отъ станціи Батраки.	Въ саженьяхъ			Уклонъ	Въ метрахъ			$i_1$	$i$	Комбинація	
	Прямая	Кривья			Прямая	Кривья				Протяженіе въ метрахъ	$i$
		длина	радіусъ			длина	радіусъ				
		77		+ 0,0042		164		0,43	4,5	} 251	4,5
	41				87				4		
141	250			+ 0,01	533				10	533	10
	100			0	213				0	213	0
142	200			- 0,005	427				- 5	427	- 5
	125			0	267				0	267	0
	150			+ 0,007	320				7	320	7
	91			+ 0,001	194				1	194	1
		68	300			145	640	1,43	2,5	} 491	3
143	162			+ 0,0028	346				3		
		100		0		213			1,5	} 213	1,5
		130	300	- 0,01		277	640	1,43	- 8,5		
	136				290				- 10	} 6524	- 8,5
144		185				394			- 8,5		
	69				147				- 10		
		66	350			141	747	1,2	- 8,5		
145		300		- 0,00707		640			- 6		
	170			- 0,01	363				- 10		
146		236	300			503	640	1,43	- 8,5		
	61				130				- 10		
		279				595			- 8,5	} 6524	- 8,5
		74		- 0,00725		158			- 5,5		
147		64	500			137	1067	0,9	- 6		
	62				132				- 7		
	105			- 0,01	224				- 10		
		88				188		0,9	- 9		
148	137				292				- 10		
		337	300			719	640	1,43	- 8,5		
	64				136				- 10		
149		463				988		1,43	- 8,5		
	33				70				- 10		
	81			0	173				0	173	0
	104			- 0,01	222				- 10	222	- 10
150	500			0	1067				0	1067	0
151		126	500			269	1067	0,9	1	269	1
		236				503			0	503	0
		110				235			1	235	1
152	108				230				0	230	0
		96	300			205	640	1,43	1,5	205	1,5
		125		+ 0,00806		267		1,2	9	267	9
		68		0		135		1,43	1,5	135	1,5
153	146			0	312				0	312	0
	100			+ 0,0025	213				2,5	213	2,5



№№ верстъ отъ станціи Батраки	Въ саженахъ			Уклонъ	Въ метрахъ			$i_1$	$i$	Комбинація	
	Прямлы	Кривыя			Прямлы	Кривыя				Протяженіе	$i$
		длина	радіусъ			длина	радіусъ				
154	400			0	853				0	4265	0
	100			- 0,0025	213			- 2,5			
	150			0	320			0			
	100			- 0,003	213			- 3			
155	100			- 0,002	213			- 2			
	357			0	761			0			
156—7		90	500			192	1067	0,9	1*)		
	703				1500				0		
	200			+ 0,004	427			4		427	4
158	150			0	320			0		1095	0
	300			- 0,001	640			- 1			
159	68			0	135			0			
		362	1000			772	2134	0,43	0,5	772	0,5
Ст. Студенца	138			0	294				0	294	0
<b>Итого..</b>										26413	—

Дѣлаемъ расчетъ, имѣя въ виду исключительно наименьшій расходъ топлива, т. е. назначая только наибыгоднѣйшія въ этомъ отношеніи скорости.

1) Поездъ отходитъ со станціи Смышляевка и приобретаетъ скорость  $V_2 = 20$  килом., пройдя какъ опредѣлено выше:

$$x_2 = 190 \text{ метр.}, \quad t_2 = 67 \text{ сек.}$$

Средняя скорость будетъ:

$$V = 3,6 \frac{190}{67} = 10,2.$$

При среднемъ впускѣ пара  $\frac{l_1}{l} = 0,500$  расходъ пара на 1 килом. пути будетъ:

$$\frac{S}{V} = 294,49 + \frac{506}{V} = 344 \text{ килогр.}$$

а слѣд. расходъ пара при прохожденіи пути  $x_2 = 190$  м. будетъ:

$$z = \frac{S}{V} \cdot \frac{x_2}{1000} = 344 \cdot 0,190 = 65,4.$$

При этомъ регуляторъ постепенно открывается, тормозъ тендера свободенъ.

2) Остальные  $952 - 190 = 762$  м. площадки поездъ идетъ со скоростью 20 килом. въ часъ и по табл. VIII находимъ соответствующія величины:

$$\frac{S}{V} = 111, \quad \frac{l_1}{l} = 0,128.$$

А затѣмъ вычисляемъ:

$$z = 111 \cdot 0,762 = 84,6 \text{ килогр.}$$

$$t = \frac{x_2}{1000} \cdot \frac{3600}{V} = 3,6 \cdot \frac{762}{20} = 137 \text{ сек.}$$

Регуляторъ открыть.

\*) Вслѣдствіе того, что передъ этимъ подъемомъ нѣсколько скатовъ, принимаемыхъ нами за площадки, поездъ приобретаетъ нѣкоторый разгонъ и пройдетъ подъемъ  $i = 1$ , длиною 192 м., не нуждаясь въ увеличеніи силы тяги.



3) У подошвы подъема  $i=11$  регуляторъ закрывается и поѣздъ идетъ такъ до тѣхъ поръ, пока скорость не сдѣлается = 14 килом. (см. табл. VIII).

По формуламъ (III и IV), подставляя  $i=11$ ,  $V_1=20$  и  $V_2=14$ , находимъ:

$$t_2 = 1428,75 \log. \left( \frac{7183 + 23 V_1}{7183 + 23 V_2} \right) = 11 \text{ сек. } ^*)$$

$$x_2 = 172,36 \left[ V_1 - V_2 - \frac{7183}{9,9887666} \log. \left( \frac{7183 + 23 V_1}{7183 + 23 V_2} \right) \right] = 53 \text{ м.}$$

4) Пройдя эти 53 м., регуляторъ открываемъ и для остальныхъ  $649-53=596$  метр. поступаемъ какъ во 2), пользуясь таблицей VIII.

5—7) См. 2. Замѣтимъ здѣсь, что при переходѣ съ  $i=10$  (5) на  $i=11$  (6) мы не принимаемъ въ расчетъ приобрѣтенную живую силу, такъ какъ разность скоростей для этихъ уклоновъ незначительна. Затѣмъ, при переходѣ съ  $i=11$  (6) на  $i=0$  (7) мы не опредѣляемъ времени на приобрѣтеніе скорости 20 килом., при начальной въ 14 килом., потому: 1) что на это потребуется сравнительно очень мало времени, а 2) и потому, что поѣздъ придетъ на площадку не со скоростью 14 килом., а большею, — такъ какъ протяженіе 1365 м. представляетъ, частью, только  $i=10$ , а не 11.

8) См. 3. При  $i=10,5$ ,  $V_1=20$  и  $V_2=14,5$

$$t_2 = 1428,75 \log. \left( \frac{6931 + 23 V_1}{6931 + 23 V_2} \right) = 11$$

$$x_2 = 172,36 \left[ V_1 - V_2 - \frac{6931}{9,9887666} \log. \left( \frac{6931 + 23 V_1}{6931 + 23 V_2} \right) \right] = 52.$$

9) Для остальныхъ  $380-52=328$  м. регуляторъ открываемъ и поступаемъ какъ во 2).

10) См. 2.

11) См. 8.

12 и 13) См. 2.

14) См. 3. При  $i=10$ ,  $V_1=18,5$ ,  $V_2=15,5$

$$t_2 = 1428,75 \log. \left( \frac{6679 + 23 V_1}{6679 + 23 V_2} \right) = 6$$

$$x_2 = 172,36 \left[ V_1 - V_2 - \frac{6679}{9,9887666} \log. \left( \frac{6679 + 23 V_1}{6679 + 23 V_2} \right) \right] = 29$$

величины очень незначительныя, а потому примемъ, что регуляторъ закрываться не будетъ и поступаемъ какъ во 2).

15) См. 2.

16) Придя на скатъ  $i=-5$  со скоростью  $V_1=20$  к., регуляторъ закрываемъ и по табл. X опредѣляемъ скорость  $V_2$ , которую паровозъ будетъ имѣть при подошвѣ ската, а также и время  $t_2$  прохожденія его

$$V_2 = 22, \quad t_2 = 72.$$

17) Затѣмъ по горизонтальной площадкѣ паровозъ пойдетъ все съ закрытымъ еще регуляторомъ, пока скорость не уменьшится до 20 килом.

По табл. XI, для  $V_2=20$ ,  $V_1=22$ , находимъ:

$$t_2 = 13, \quad x_2 = 79.$$

18) См. 2.

\*) Время же такъ мало, что въ дѣйствительности конечно нельзя будетъ закрывать регулятора, — наоборотъ: при самомъ подходѣ къ подошвѣ подъема придется поставить кулису на полный выпускъ; все дѣйствія съ регуляторомъ и кулиснымъ приборомъ требуютъ времени и потому должны быть производимы *ранѣе* наступленія момента измѣненія въ профили. Соотвѣтственное предвареніе дѣйствій надъ приборами паровоза, отопленіемъ и питаніемъ водою, относительно измѣненія профили и составляетъ искусство машиниста.



19) Если поступать какъ въ 3, то при  $i = 7$ ,  $V_1 = 20$ ,  $V_2 = 17$  получаемъ:

$$t_2 = 1428,75 \log. \left( \frac{5167 + 23 V_1}{5167 + 23 V_2} \right) = 8$$

$$x_2 = 172,36 \left[ V_1 - V_2 - \frac{5167}{9,9887666} \log. \left( \frac{5167 + 23 V_1}{5167 + 23 V_2} \right) \right] = 39$$

величины незначительныя. Поэтому поступаемъ какъ во 2.

20—22) См. 2.

23) При  $i = -8,5$  регуляторъ закрываемъ и по табл. X для  $x=277$  находимъ (приблизительно):

$$V_2 = 26, \quad t_2 = 40.$$

24) Также для  $i = -10$ , длиною 290 м., при  $V_1 = 26$  и  $V_2 = 30$  находимъ по табл. X:

$$t_2 = 21, \quad x_2 = 161.$$

25) Здѣсь затѣмъ повременамъ заставляють дѣйствовать тормазъ тендера, не давая скорости переходить за 30 килом., и идутъ такимъ образомъ съ равномерною скоростью  $V = 30$  килом. на протяженіи  $6524 - (277 + 161) = 6086$  м.

Опредѣляемъ:

$$t_2 = 3,6 \cdot \frac{x_2}{V} = 730 \text{ сек.}$$

26) Тормазъ поднять и по табл. XI для  $V_1 = 30$  и  $x_2 = 173$  находимъ:

$$\frac{194-148}{194-173} = \frac{25-19}{y}, \text{ т. е. } y = 3$$

слѣд.

$$t_2 = 22, \quad V_2 = 26,5.$$

27) Для  $i = -10$ , длиною 222 м., по табл. X находимъ при  $V_1 = 26,5$ ,  $V_2 = 30$ .

$$t_2 = \frac{21+16}{2} = \text{почти } 19, \quad x_2 = \frac{161+123}{2} = 142.$$

28) Для остальныхъ  $222 - 142 = 80$  м. см. 25.

29) Для  $i = 0$ ,  $V_1 = 30$  и  $V_2 = 20$ , табл. XI:

$$t_2 = 64, \quad x_2 = 446.$$

30—35) См. 2.

36) См. 3. Для  $i = 9$ ,  $V_1 = 20$ ,  $V_2 = 16$ .

$$t_2 = 1428,75 \log. \left( \frac{6175 + 23 V_1}{6175 + 23 V_2} \right) = 9$$

$$x_2 = 172,36 \left[ V_1 - V_2 - \frac{6175}{9,9887666} \log. \left( \frac{6175 + 23 V_1}{6175 + 23 V_2} \right) \right] = 43.$$

37—44) См. 2.

45) По табл. XI для  $V_1 = 20$ ,  $V_2 = 0$  находимъ  $t_2 = 153$ ,  $x_2 = 404$ ; но мы беремъ  $x_2 = 294$  и обращаемъ  $V$  въ 0 опусканіемъ тормазъ тендера. Время же  $t$  опредѣляемъ по формулѣ равномерно ускореннаго движенія:  $x = \frac{vt}{2}$ , откуда

$$t = \frac{2x}{v} = \frac{2 \cdot 294 \cdot 3,6}{20} = 106.$$

Всѣ эти результаты соединяемъ въ одну таблицу.



Таблица XIII.

№ раз-счета	№ версты	$x_2$	$t_2$	$v$	$\frac{S}{V}$	z расходь пара	$\frac{l_1}{l}$	Регуляторъ	Тормазь тендера
1	135	190	67	10,2	344	65,4	0,500	Постепенно открывается	Свободень
2		762	137	20	111	84,6	0,128	Открыть	"
3		53	11	(20-14)	—	—	—	Закреть	"
4	136	596	153	14	462 <sup>1/2</sup>	275,7	0,725	Открыть	"
5	137	874	203	15,5	414	361,8	0,648	"	"
6	138	1365	351	14	462 <sup>1/2</sup>	631,3	0,725	"	"
7		267	48	20	111	29,6	0,128	"	"
8		52	11	(20-14,5)	—	—	—	Закреть	"
9		328	81	14,5	437	143,3	0,685	Открыть	"
10	139	316	57	20	119	37,6	0,140	"	"
11		52	11	(20-14,5)	—	—	—	Закреть	"
12	140	1441	358	14,5	437	629,7	0,685	Открыть	"
13		251	49	18,5	205	51,5	0,298	"	"
14	141	533	124	15,5	414	220,6	0,648	"	"
15		213	38	20	111	23,7	0,128	"	"
16	142	427	72	(20-22)	—	—	—	Закреть	"
17		79	13	(22-20)	—	—	—	"	"
18		188	34	20	111	20,9	0,128	Открыть	"
19		320	68	17	287	91,9	0,435	"	"
20		194	35	20	128	24,8	0,158	"	"
21	143	491	88	—	171	84	0,238	"	"
22		213	38	—	139	29,6	0,178	"	"
23		277	40	(20-26)	—	—	—	Закреть	"
24		161	21	(26-30)	—	—	—	"	"
25	144-9	6086	730	30	—	—	—	"	Дѣйствуетъ
26		173	22	(30-26,5)	—	—	—	"	Свободень
27		142	19	(26,5-30)	—	—	—	"	"
28		80	10	30	—	—	—	"	Дѣйствуетъ
29	150	446	64	(30-20)	—	—	—	"	Свободень
30		621	112	20	111	69	0,128	Открыть	"
31	151	269	48	—	128	34,4	0,158	"	"
32		503	91	—	111	55,8	0,128	"	"
33		235	42	—	128	30,1	0,158	"	"
34	152	230	41	—	111	25,5	0,128	"	"
35		205	37	—	139	28,5	0,178	"	"
36		43	9	(20-16)	—	—	—	Закреть	"
37		224	50	16	366	82	0,569	Открыть	"
38		135	24	20	139	18,8	0,178	"	"
39	153	312	56	—	111	34,6	0,128	"	"
40		213	38	—	161	34,3	0,218	"	"
41	154-7	4265	768	—	111	473,4	0,128	"	"



№ раз-счета	№ версты	$x_2$	$t_2$	$V$	$\frac{S}{V}$	$z$ расходъ пара	$\frac{l_1}{l}$	Регуляторъ	Тормазъ тендера
42		427	77	—	193	82,4	0,278	Открыть	Свободенъ
43		1095	197	—	111	121,6	0,128	"	"
44		772	139	—	119	91,9	0,140	"	"
45		294	106	(20-0)	—	—	—	Закрѣтъ	Дѣйствуетъ
<b>Итого . . .</b>		26413	4788	—	—	3988,3	—	—	—

Таблица эта выражена на чертежѣ — листъ П.

Раздѣляя  $\Sigma x_2 = 26.413$  километр. = 24,7 верст. на  $\Sigma t_2 = 4788$  с. = 1<sup>г</sup>,33 = 1 ч. 20 м., получаемъ среднюю скорость движенія  $V = 19,9$  килом. = 18,6 верст. въ часъ.

$\Sigma z$  даетъ расходъ пара на весь путь = 3988,3 килогр. Прибавляя къ этой цифрѣ 10%, т. е. количество увлекаемой съ паромъ воды въ капельномъ видѣ, — полный расходъ воды будетъ 4387,13 килогр. или 169,8 килогр. на километръ пройденнаго пути.

По дѣланнымъ, инженерами Восточной французской желѣзной дороги опытамъ, надъ расходомъ воды 8-ми колесными паровозами, имѣются слѣдующія данныя:

Т а б л и ц а X I V.

ДЕНЬ ОПЫТА	Названіе станцій, между которыми производились опыты	Вѣсъ поѣзда брутто безъ машины и тендера тоннъ.	Пробѣгъ во время опыта	Средній уклонъ пути	Наиболь- шій подъемъ	Средняя скорость въ часъ въ километрахъ	Общій расходъ воды въ килограммахъ	Расходъ воды въ кило- граммахъ.		
								На километръ пройденнаго пути	На тонно-кило- метръ однихъ вагоновъ безъ машины и тендера	
11 Января 1866	Отъ Форбаха до Сентъ Авольда.	533	} 19 километ- ровъ.	подъемъ	0,0025	0,005	16	4203	221	0,41
10 » 1866		469					17	3620	190	0,40
10 » 1866		473					15	3870	203	0,43
23 Декабря 1865		485					19	3380	178	0,36
22 » 1865		476					17	3760	198	0,41
21 Марта 1867	Отъ Вьель- Сальмъ до Гувь.	210	} 10 километ- ровъ.	подъемъ	0,0155	0,018	14	1940	194	0,92
22 » 1867		233					17	1980	198	0,84
Д л я с д ѣ л а н н а г о н а м и п р и м ѣ р а										
	Отъ Смышляевки до Студенцовъ	434	26413	скатъ	0,0003	0,010	19,9	4387,13	169,8	0,39

Послѣднія цифры относятся до нашего расчета. Средній скатъ въ 0,0003 получится, раздѣляя разность высотъ горизонтальныхъ площадокъ станцій Смышляевки и Студенцы (первая лежитъ выше послѣдней), т. е. 8,13 метровъ, на разстояніе между ними, т. е. 26413 метровъ. Машины Восточной дороги имѣють размѣры, близкіе къ разсматриваемому типу, а именно:



Диаметръ цилиндровъ . . . . .	0,500 м.
Ходъ поршней . . . . .	0,660 »
Диаметръ колесъ . . . . .	1,260 »
Нагрузка на ведущія колеса . . . . .	46310 килогр.
Поверхность нагрѣва общая . . . . .	193,63 □ м.
Клеймо котла . . . . .	8 атмосферъ.

Изъ таблицы этой видно, что результаты нашего расчета довольно близки къ полученнымъ опытомъ.

Сравнивая результатъ опытовъ между Форбахомъ и Сентъ-Авольдомъ съ нашимъ расчетомъ, видимъ, что расходъ воды на поѣздо-километръ у насъ меньше, чѣмъ и должно быть, такъ какъ наибольшій уклонъ у насъ вдвое больше, а средній почти 0 \*). Что же касается до расхода на тонно-километръ, то онъ почти равенъ опредѣленному опытомъ, хотя долженъ бы быть больше его, но это потому, что въ нашемъ расчетѣ взять наибольшій, возможный вѣсъ поѣзда, соотвѣтствующій предѣльному уклону, а при опытахъ на Восточной дорогѣ, вѣсъ поѣздовъ не достигалъ до предѣльнаго возможнаго: именно, на 0,005 уклонѣ предѣльный вѣсъ поѣзда, при нашемъ паровозѣ, почти одинаковой силы съ тѣми, надъ которыми производились испытанія, составилъ бы 785 тоннъ или 49 груженыхъ вагоновъ.

По этой же причинѣ и расходъ на поѣздо-километръ, оказавшійся при опытахъ, не настолько больше опредѣленнаго нашимъ расчетомъ, чѣмъ бы онъ былъ, если бы поѣзды были предѣльнаго груза.

Опыты же произведенные на участкѣ пути между Вьельсальмомъ и Гуви, представляющемъ почти сплошной подъемъ отъ 0,015 до 0,018 необходимо должны были дать большія цифры расхода воды.

По довольно точнымъ опытамъ, произведеннымъ покойнымъ инженеромъ Е. Н. Менцовымъ и мною, надъ тягою 8-ми колеснаго паровоза, серіи Ж, Николаевской желѣзной дороги, 3-го и 5-го августа 1868 года, между С.-Петербургомъ и Псковомъ, по линіи Варшавской желѣзной дороги, оказалось, что на 1 пудъ дровъ расходовалось отъ 3,18 до 3,64 пуд. воды \*\*). Дрова были 8-ми верхковыя, мѣшанные, сосновыя съ березовыми, сухія, хорошаго качества, и вѣсъ ихъ былъ въ 1 квадратной сажени 44 пуда 30 фунтовъ, среднимъ числомъ, такъ что 1 куб. сажень, среднимъ числомъ, вѣсила 268,5 пудовъ. Такимъ образомъ можно принять въ круглыхъ числахъ, что на 1 пудъ дровъ расходуются 3<sup>1</sup>/<sub>2</sub> пуда воды и что 1 куб. сажень дровъ вѣситъ 270 пудовъ. Тогда будемъ имѣть, что на весь расходъ воды въ 4387,3 килограммовъ или 268 пудовъ потребуется  $\frac{268}{3,5} = 76\frac{2}{3}$  пуда, или 10,284 куб. сажени (а на поѣздо-версту 3,94 куб. фута) дровъ. Зная паропроизводительность топливъ другого рода, легко опредѣлить ихъ расходъ по расходу воды.

Такимъ образомъ мы, слѣдуя указанному порядку расчета, можемъ опредѣлить какъ расходъ пара, а слѣдовательно и *расходъ* потребляемаго паровозомъ топлива, при прохожденіи даннаго участка дороги, такъ и *время* этого прохожденія, при соблюденіи наивыгоднѣйшихъ (въ отношеніи расходованія топлива) скоростей движенія. Способъ этотъ можетъ быть приложимъ ко всякаго рода паровозамъ, какъ товарнымъ такъ и пассажирскимъ. Для послѣднихъ численныя данныя можно найти какъ въ сочиненіяхъ выше упоминавшихся, такъ и въ извѣстныхъ трактатахъ Куша и Гейзингера ф. Вальдеггъ.

\*) Ибо вѣсъ поѣзда рассчитывается по наибольшему предѣльному уклону, а какъ на линіи, при большихъ предѣльныхъ подъемахъ, встрѣчаются въ большемъ числѣ подъемы меньшіе и скаты, то паровозъ вообще не работаетъ постоянно полнымъ усиліемъ и расходъ пара на поѣздо-километръ будетъ меньше, чѣмъ напр., на горизонтальной линіи, гдѣ паровозъ постоянно работаетъ съ полнымъ, или близкимъ къ полному, усиліемъ. Обратное будетъ относительно расхода пара на тонно-километръ, который больше на линіяхъ съ крутыми уклонами, чѣмъ съ пологими.

\*\*\*) Это—валовой расходъ воды со включеніемъ уносимой паромъ, въ капельномъ видѣ; пзмѣрялась убыль воды въ тендерѣ.



Надо замѣтить, что данныя распределенія пара лучше снимать съ натуры, чѣмъ вычерчивать диаграмму, и слѣдуетъ дѣлать это для каждаго зубца кулисы; вредныя пространства  $m$  лучше всего определять наполненіемъ цилиндровъ водою и измѣреніемъ объема воды (это всегда можно сдѣлать во время ремонта паровоза); также можетъ быть, даже для товарныхъ паровозовъ, — лучше принимать потерю давленія пара при входѣ въ цилиндры въ 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, а не въ 5<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, какъ мы приняли въ нашемъ расчетѣ, а равно, выражать сопротивленіе движенію, механизма паровоза, не скидкою 20<sup>0</sup>/<sub>0</sub>, съ валовой силы тяги, какъ мы сдѣлали, а включеніемъ въ число сопротивленій поѣзда, рассчитывая по 20 килогр. на тонну 8-ми - колеснаго паровоза съ тендеромъ (тогда уже вѣсъ тендера надо выдѣлать изъ вѣса поѣзда) такъ какъ по опытамъ Форкно на Орлеанской желѣзной дорогѣ, сопротивленія механизма паровоза почти не зависятъ отъ степени впуска пара; впрочемъ, по вопросу этому имѣется еще очень мало данныхъ.

Пользуясь предлагаемымъ способомъ расчета, можно довольно приблизительно опредѣлить расходъ топлива для поѣзда предѣльнаго вѣса; но какъ нормы топлива обыкновенно назначаются по числу вагоновъ поѣзда, то расчетъ нашъ можно было бы повторить для поѣздовъ, состоящихъ каждый, изъ паровоза съ тендеромъ и пяти, десяти, пятнадцати, двадцати и т. д. вагоновъ, принимая что росписание времени остается неизмѣняемымъ, и затѣмъ интерполированіемъ опредѣлить расходъ топлива на одинъ паровозъ съ тендеромъ и каждый послѣдовательный вагонъ. Такой же расчетъ слѣдуетъ сдѣлать и для зимняго времени, когда вѣсъ поѣздовъ долженъ быть уменьшенъ, сообразно уменьшенію коэффициента сцепленія. Конечно все это представляетъ работу довольно продолжительную, но вопросъ рациональнаго расходванія топлива паровозами, по своей важности, стоитъ серьезнаго труда.

Опредѣленные такимъ образомъ нормы расхода топлива должны быть провѣрены пробными поѣздами, и затѣмъ могутъ быть установлены преміи за сбереженіе топлива, причемъ нормы должны быть какъ можно ближе къ дѣйствительному потребленію а преміи на единицу сбереженія, какъ можно выше.

Очень бы мнѣ желательно было, чтобы предложенный способъ расчета, былъ примененъ на дѣлѣ, въ особенности въ отношеніи опредѣленія наивыгоднѣйшихъ скоростей движенія (что можетъ послужить для провѣрки правильности, существующихъ росписаній движенія товарныхъ поѣздовъ), а также въ отношеніи назначенія предѣльнаго вѣса поѣздовъ, соответственно уклонамъ линій. Всѣ эти вопросы, для желѣзныхъ дорогъ съ малыми подъемами, наиболѣе у насъ встрѣчающимися, имѣютъ еще большее значеніе, чѣмъ для линій съ крутыми уклонами.



# КЪ РАСЧЕТУ РАБОТЫ 8-КОЛЕСНАГО ТОВАРНАГО ПАРОВОЗА

НИКОЛАЕВСКОЙ ЖЕЛЪЗНОЙ ДОРОГИ

СЕРІИ 3

ПОСТАВКИ ЗАВОДА Фивъ-Лилль

## КРИВЫЯ

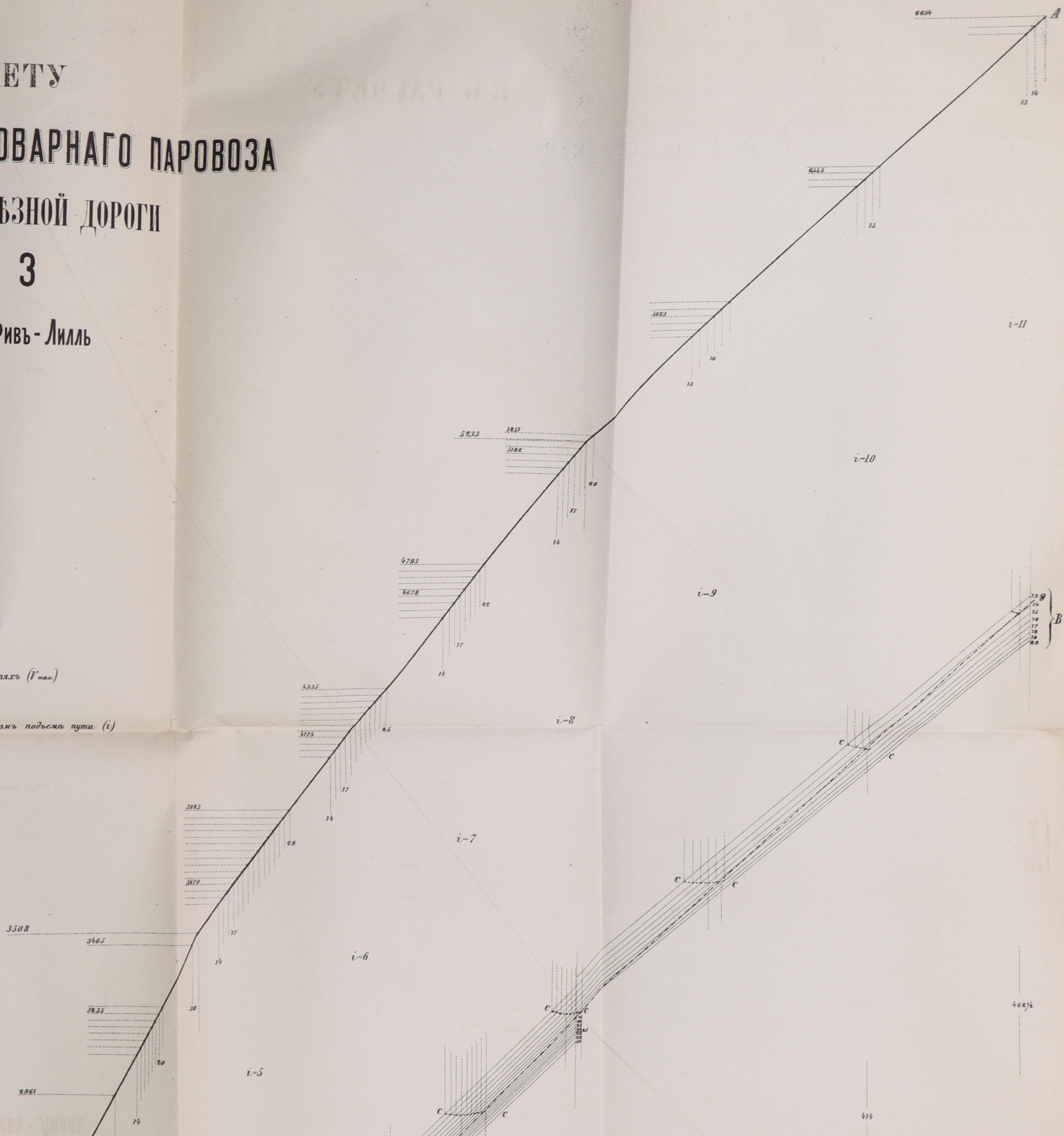
$A$  —  $A$  силы тяги паровоза ( $F$ )  
 $\left. \begin{array}{l} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \text{---} \end{array} \right\} \text{расхода пара на}$   
 $B$  —  $B$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{наибольш. возможн. скорости} (V_{max}) \\ \text{данной скорости} (V) \end{array} \right.$   
 $\left. \begin{array}{l} \text{---} \text{---} \text{---} \end{array} \right\} \text{килогр. пути } \frac{S}{V} \text{ при}$   
 $C$  —  $C$   $\left\{ \begin{array}{l} \text{различн. скорост.} (V) \text{ и данномъ подъемѣ пути} (i) \end{array} \right.$

## Ма а с т а б ы

абсцисса  $\frac{l}{V}$  — 0,0015 въ 1 мм

ордината  $F$  — 10 килогр. въ 1 мм

ордината  $\frac{S}{V}$  — 1 килогр. въ 1 мм







ПОСТАВКИ ЗАВОДА ФНВР-УНУВР  
 СЕБИН  
 ПРОИЗВЕДЕНИЈА ЗА ПУТЕ  
 БУВОВАРИ 8-КОНЕЧНОЛО БУВНОЛО



