

ОПРЕДѢЛЕНІЕ СКОРОСТИ
ПОѢЗДА НА ЖЕЛѢЗНОЙ ДОРОГѢ

ПРИ

ВОЗМОЖНОМЪ УВЕЛИЧЕНІИ ВѢРОЯТНОСТИ
БЕЗОПАСНАГО ДВИЖЕНІЯ.

Н. П. Петрова,

ПРОФЕССОГА ТЕХНОЛОГИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА.

САНКТПЕТЕРБУРГЪ.

ТИПОГРАФІЯ ИМПЕРАТОРСКОЙ АКАДЕМИ НАУКЪ.

Вас. Остр., 9 лян., № 12.

1890.

Печатано по распоряженію Учебнаго Комитета Технологическаго Института.
Іюнь 1890 года.

Директоръ *Н. Ильинъ*.

Страшное несчастіе, случившееся съ Императорскимъ поѣздомъ 17 октября 1888 года, вызвало множество соображеній, высказанныхъ и печатно и устно инженерами разныхъ странъ, относительно тѣхъ скоростей, съ которыми могутъ двигаться поѣзды, не только не увеличивая, но даже нѣсколько уменьшая рискъ, всегда неизбежно связанный съ ѣздою по желѣзной дорогѣ. Рѣшеніе подобнаго вопроса могло-бы считаться вполне исчерпаннымъ, если бы удалось показать, какъ опредѣляется степень вѣроятности той или другой величины риска при данныхъ условіяхъ движенія. Но теперь, при полной невозможности дать такое строгое рѣшеніе, и думая, по мѣрѣ возможности, удовлетворить высказываемому со всѣхъ сторонъ желанію—разъяснить дѣло на столько, на сколько возможно при современныхъ нашихъ знаніяхъ, рѣшаюсь напечатать нижеслѣдующія соображенія, искренне желая, чтобы другіе, болѣе меня счастливые, инженеры дополнили то, что я упустилъ или не сумѣлъ разъяснить.

Потребность въ большихъ скоростяхъ движенія поѣздовъ.

Среди различныхъ удобствъ передвиженія по желѣзнымъ дорогамъ одно изъ наиболѣе полезныхъ и пріятныхъ состоитъ въ быстротѣ переѣздовъ. Какъ бы ни были удобны вагоны, но оставаться въ нихъ въ теченіи долгаго времени, во всякомъ случаѣ, утомительно, и, чѣмъ большія разстоянія приходится проходить, тѣмъ желательнѣе становится быстрое движеніе поѣзда. На заграничныхъ дорогахъ есть поѣзды, ходящіе со скоростью около 90 верстъ въ часъ, и если при тамошнихъ разстояніяхъ, считающихся сотнями верстъ, такія скорости признаются желательными, то при нашихъ разстояніяхъ, превосходящихъ иногда двѣ тысячи верстъ, подобныя и, можетъ быть, еще большія скорости были-бы не менѣе полезны и пріятны для всѣхъ, пользующихся желѣзными дорогами. Естественно по этому и намъ принимать всѣ зависящія мѣры къ достиженію возможно большихъ скоростей. Но, при опредѣленіи допустимыхъ наибольшихъ скоростей, необходимо принимать въ расчетъ многія серьезныя и важныя обстоятельства. Не говоря о томъ, что быстрое движеніе поѣзда не происходитъ такъ покойно и плавно, какъ движеніе болѣе медленное, и что утомленіе, зависящее отъ качки быстро идущаго поѣзда, даже въ теченіи короткаго времени можетъ иногда дѣлаться тяжелѣе утомленія, вызываемаго болѣе покойнымъ, хотя бы и болѣе продолжительнымъ, движеніемъ поѣзда, но увеличеніе скорости, и въ особенности—увеличеніе значительное, уменьшаетъ увѣренность въ полной безопасности ѣдущихъ лицъ.

Если замѣтимъ, что ни какія знанія, искусство и вниманіе техниковъ не могутъ служить безусловнымъ ручательствомъ, что въ поѣздѣ не совершится такое поврежденіе, которое вызоветъ чрезвычайно быструю, почти моментальную остановку вагоновъ, то для полной безопасности ѣдущихъ надо ограничиваться такими скоростями ѣзды, при которыхъ и самыя быстрыя остановки не могутъ еще имѣть не только пагубныхъ, но и вредныхъ послѣдствій. Между тѣмъ расчетъ указываетъ, что, даже не

задаваясь цѣлью сохраненія ѣдущихъ отъ опасныхъ ушибовъ и имѣя въ виду только сохраненіе вагоновъ отъ разрушенія, уже надо было-бы ѣздить не быстрѣе 20 верстъ въ часъ. Но такъ какъ, при чрезвычайно быстрыхъ остановкахъ, лица, находящіяся и въ уцѣлѣвшихъ вагонахъ, могутъ подвергнуться весьма опаснымъ ушибамъ и поврежденіямъ, то вполне безопасно можно ѣздить только при очень малыхъ скоростяхъ, можетъ быть — 10 верстъ въ часъ, а можетъ быть — и менѣе этого. Въ виду крайнихъ неудобствъ такой медленной ѣзды и въ виду того, что поврежденія въ поѣздахъ происходятъ обыкновенно чрезвычайно рѣдко, пассажирское движеніе совершается повсюду со скоростями весьма большими, и хотя во всѣхъ странахъ происходятъ по временамъ несчастные случаи съ пассажирскими поѣздами, но потребность въ быстрой ѣздѣ не только не уменьшается, а возрастаетъ.

Соображенія, руководящія при опредѣленіи наибольшихъ допускаемыхъ скоростей.

Если потребностями жизни очень медленная ѣзда устраняется, и если, такимъ образомъ, допускается тотъ рискъ, хотя-бы и весьма малый, который неизбежно является при ѣздѣ болѣе или менѣе быстрой, то безусловно необходимо ограничить этотъ рискъ всѣми возможными способами и не только принимать всѣ зависящія отъ людей мѣры къ предупрежденію какихъ бы то ни было поврежденій въ поѣздѣ, но точно также необходимо и не допускать такихъ скоростей движенія, которыя сами по себѣ могли-бы уже вызывать обстоятельства, способныя сдѣлаться причиною несчастныхъ случаевъ.

Остановливаясь на этой послѣдней точкѣ зрѣнія, можно опредѣлять тѣ наибольшія скорости движенія на данной дорогѣ, которыя могутъ быть признаны не вызывающими никакихъ особыхъ, имъ самимъ свойственныхъ, опасеній, исключая случая, находящіеся внѣ силъ человѣческихъ и зависящіе единственно отъ Промысла Божія.

Наибольшая допустимая для поѣзда, скорость, опредѣляется въ зависимости: 1) отъ состоянія пути, 2) отъ свойствъ паровоза и 3) отъ искусства машиниста.

Что касается свойствъ пути, то, за исключеніемъ уклоновъ и кривыхъ, они очень мало поддаются строгой характеристикѣ, и, для опредѣленія наибольшей скорости въ зависимости отъ свойствъ пути, нельзя дать какое-нибудь точное правило, а должно руководствоваться только указаніями опытныхъ техниковъ, близко знакомыхъ со свойствами даннаго пути.

Свойства паровоза, вліяющія на опредѣленіе наибольшей скорости, есть та ли другая способность его къ движеніямъ съ разными скоростями безъ развитія опасныхъ колебаній и его наибольшая сила тяги.

До настоящаго времени еще не опубликовано никакихъ точныхъ изслѣдованій относительно опредѣленія наибольшей скорости паровоза, не вызывающей опасныхъ колебаній, къ какому бы роду эти послѣднія не относились, а потому въ этомъ отношеніи приходится ограничиваться требованіемъ, чтобы скорость паровоза, ни въ какомъ случаѣ, не превышала той нормы, которая по практическимъ наблюденіямъ признается безопасною.

Сила тяги паровоза, способная въ дѣйствительности проявиться и зависящая съ одной стороны отъ свойствъ и размѣровъ котла и устройства паровозной машины и съ другой — отъ сцепленія ведущихъ и сдвоенныхъ колесъ съ рельсами, опредѣляетъ ту наибольшую силу, при содѣйствіи которой можетъ быть измѣняемъ ходъ поѣзда, не прибѣгая къ тормазамъ. Чѣмъ больше будетъ разница между силою тяги и силою, необходимою для равномернаго движенія поѣзда на данномъ пути, тѣмъ вліятельнѣе будетъ дѣйствіе паровоза, на движеніе поѣзда.

Такъ какъ измѣненіе въ движеніи поѣзда можетъ состоять только въ измѣненіи его живой силы, и такъ какъ измѣненіе живой силы, при переходѣ отъ нѣкоторой скорости V къ дру-

гой $V \pm v$, при полномъ вѣсѣ Q всего поѣзда, выразится разностью

$$\frac{Q}{g} \frac{V^2}{2} - \frac{Q}{g} \frac{(V \pm v)^2}{2} = \mp \frac{Q}{g} v \left(V \pm \frac{v}{2} \right),$$

то окзывается, что измѣненіе живой силы будетъ тѣмъ больше, чѣмъ больше V , слѣдовательно, чѣмъ больше V , тѣмъ больше должно быть и различіе между силою тяги паровоза и дѣйствительною силою, необходимою для движенія поѣзда. Приведенныя соображенія, вполне вѣрныя, пока идетъ рѣчь о качественномъ опредѣленіи наибольшей скорости, недостаточны для количественнаго ея опредѣленія. Этими разсужденіями нельзя воспользоваться для опредѣленія численной величины скорости V , потому что они вовсе не даютъ связи между наибольшею скоростью V , силою сдѣлленія и другими силами, обусловливающими измѣненія состояній движенія поѣзда. Этотъ недостатокъ можетъ быть, до извѣстной степени, восполненъ, если удастся правильно принять въ расчетъ искусство машиниста, управляющаго движеніями поѣзда.

Вліяніе искусства машиниста на опредѣненіе численной величины наибольшей допустимой скорости если и можетъ быть принимаемо въ расчетъ, то только въ самыхъ общихъ чертахъ, ибо всемъ извѣстно, какъ мало вѣроятія можно придавать точному опредѣленію степени искусства отдѣльнаго лица когда многое, вполне доступное для одного, окзывается совершенно не возможнымъ для другаго.

Искусство машиниста, въ отношеніи безопасности движенія, проявляется въ той дальновидности, которая устраняетъ необходимость принятія слишкомъ сильныхъ и энергическихъ мѣръ для надлежащаго регулированія хода поѣзда, въ той предусмотрительности, при которой, во время приложенная, небольшая сила производитъ такое дѣйствіе, для произведенія котораго, при болѣе или менѣе значительномъ упущеніи, понадобится приложеніе къ тому же поѣзду гораздо болѣе значительной силы. Чѣмъ искуснѣе машинистъ, чѣмъ онъ предусмотрительнѣе, тѣмъ меньше

можетъ отличаться сила тяги паровоза отъ той силы, которая требуется въ данное время для движенія поѣзда, не уменьшая правильности его хода.

Опредѣленіе наибольшей допустимой скорости движенія поѣзда даннаго вѣса на основаніи данныхъ о наибольшемъ вѣсѣ и наибольшихъ скоростяхъ движенія обыкновенно двигающихся на дорогѣ поѣздовъ, другими словами на — основаніи данныхъ, характеризующихъ привычки машинистовъ въ управленіи поѣздами.

Управленіе ходомъ поѣзда проявляется, между прочимъ, въ надлежащемъ, сообразованномъ съ мѣстными условіями и обстоятельствами, измѣненіи скорости его движенія или, другими словами, въ измѣненіи живой силы поѣзда. Измѣненія эти должны быть достигаемы на извѣстныхъ мѣстахъ, и потому, чѣмъ позднѣе они будутъ начаты, тѣмъ меньше будутъ тѣ перемѣщенія поѣзда, при которыхъ требующіяся измѣненія должны будутъ совершаться. Связь между величиною измѣненія живой силы поѣзда, длиною пути, проходящаго поѣздомъ при этомъ измѣненіи, силою тяги паровоза, прикладываемою къ поѣзду, и сопротивленіемъ поѣзда можетъ быть выражено уравненіемъ.

Если назовемъ:

Q — вѣсъ поѣзда въ тоннахъ,

v — скорость его движенія въ километрахъ въ часъ въ началѣ измѣненія;

w — скорость его движенія въ километрахъ въ часъ въ концѣ измѣненія;

l — пусть, проходимый поѣздомъ во время измѣненія;

P — силу тяги въ килограммахъ;

$\pm i$ — число тысячныхъ (+) подъема или (—) спуска пути;

k — сопротивленіе поѣзда на тонну его вѣса на горизонтальномъ пути, при скорости v ,

то живая сила, приобрѣтенная при измѣненіи будетъ

$$1000 (n^2 - 1) \frac{Q}{2g} \left(\frac{v}{3.6} \right)^2.$$

Работа силы, произведшей это измѣненіе живой силы, будетъ

$$[P - (\pm i + k) Q] l, .$$

откуда

$$\{ P - [\pm i + k] L \} l = 1000 (n^2 - 1) \frac{Q}{2g} \left(\frac{v}{3.6} \right)^2.$$

Если паровозъ съ тою-же силою тяги P будетъ двигать по тому же мѣсту пути поѣздъ вѣсомъ Q_1 тоннъ, представляющій на тонну сопротивленіе κ_1 , и потребуется измѣнить его скорость v_1 тоже до величины n v_1 , на томъ же протяженіи l , то необходимо, чтобы было удовлетворено равенство

$$\{ P - [\pm i + k_1] Q_1 \} l = 1000 (n^2 - 1) \frac{Q_1}{2g} \left(\frac{v}{3.6} \right)^2,$$

а если первое уравненіе раздѣлимъ на второе, то получимъ уравненіе слѣдующее:

$$\frac{P - (\pm i + k) Q}{P - (\pm i + k_1) Q_1} = \frac{Q}{Q_1} \left(\frac{v}{v_1} \right)^2,$$

откуда находимъ, что

$$v_1 = v \sqrt{\frac{Q}{Q_1} \cdot \frac{P - (\pm i + k_1) Q_1}{P - (\pm i + k) Q} \dots \dots \dots (1)}$$

Сила тяги P въ этихъ уравненіяхъ должна быть выражена числомъ положительнымъ, если рѣчь идетъ о регулированіи скорости, требующемъ ускоренія хода и числомъ отрицательнымъ— если регулированіемъ скорости требуется замедленіе хода.

Это уравненіе указываетъ, съ какою скоростью v_1 долженъ идти на данномъ пути поѣздъ, имѣющій вѣсъ Q_1 , представляющій сопротивленіе на тонну на горизонталяхъ κ_1 килограммовъ, если поѣздъ вѣсомъ Q съ сопротивленіемъ κ , на томъ же пути, можетъ идти со скоростью v , для того, чтобы въ обоихъ случа-

яхъ измѣнить соотвѣтствующія скорости одинаковымъ образомъ при прохожденіи одного и того же пути. Оно даетъ опредѣленіе только условное, но не абсолютное; оно приведетъ къ практическому результату только въ такомъ случаѣ, если уже извѣстна та скорость v , съ которою можетъ идти поѣздъ, имѣющій вѣсъ Q и представляющій сопротивление k , но какъ велика можетъ быть та скорость v , съ которою можетъ идти поѣздъ вѣсомъ Q , съ сопротивленіемъ k , и съ условіемъ, чтобы управленіе его ходомъ было вполне надежно, это должно быть найдено изъ условій совершенно другаго рода.

Умѣніе управлять поѣздомъ можетъ быть приобретаемо только путемъ ежедневнаго упражненія, и то, что, мало-по-малу, становится вполне легкимъ для машинистовъ одной дороги, можетъ оказаться крайне труднымъ для машинистовъ другой. По этому опредѣленіе наибольшей скорости такого поѣзда, который долженъ идти въ условіяхъ возможно наибольшей безопасности, съ устраненіемъ всякаго лишняго риска, должно быть сдѣлано для каждой дороги особо, принимая въ расчетъ ежедневную практику тѣхъ машинистовъ, которымъ будетъ поручено управленіе паровозомъ въ такомъ поѣздѣ.

Если, напримѣръ, на какой-нибудь дорогѣ машинисты, идя двойною тягою, не затрудняются управлять поѣздомъ, имѣющимъ вѣсъ $400 + 2 \times 60 = 520$ тоннъ, идущимъ 50 верстъ въ часъ на горизонтальномъ пути, при средней величинѣ сопротивленія на тонну $k = 6,4$ и паровозы имѣютъ возможность, при необходимости своевременно уменьшать скорость поѣзда, развивать задерживающую силу $P = -9000$ килограммъ, то скорость другаго поѣзда вѣсомъ $350 + 2 \times 60 = 470$ тоннъ, тоже на горизонтальномъ пути, при тѣхъ-же паровозахъ, развивающихъ ту же величину $P = -9000$ и, напримѣръ, при $k_1 = 6,7$ опредѣлится уравненіемъ

$$v_1 = 60 \sqrt{\frac{520}{470} \times \frac{-9000 + 6,7 \times 470}{-(9000 + 6,4 \times 520)}} = 62,4.$$

Тотъ же поѣздъ на уклонѣ въ $i = -0,008$ для правильнаго уменьшенія скорости, при сопротивленіи $k = 5,8$ и при $P = -9000$, долженъ идти со скоростью

$$v = 60 \sqrt{\frac{520}{470} \times \frac{-(9000 - 2,2 \times 470)}{-(9000 - 6,4 \times 520)}} = 50,4.$$

Если умѣнне машиниста приобрѣтается на такой дорогѣ, гдѣ онъ ежедневно однимъ паровозомъ, имѣющимъ силу тяги 4800 килограммъ и вѣсъ вмѣстѣ съ тендеромъ 60 тоннъ возить поѣзды, имѣющіе вѣсъ $270 + 60 = 330$ тоннъ, и достигаетъ на горизонталяхъ наибольшей скорости 50 верстъ въ часъ, то тотъ же машинистъ, съ тѣмъ же паровозомъ, не выходя изъ обыкновенныхъ условій и привычекъ, будетъ съ обычнымъ для него успѣхомъ управлять поѣздомъ вѣсомъ $350 + 60 = 410$ тоннъ, при другой скорости, меньшей 50 верстъ, которая опредѣлится изъ уравненія (1) если обратимъ вниманіе, что, напримѣръ, для его обыкновеннаго поѣзда $k = 5,25$, а для новаго поѣзда, при ожидаемой скорости v_1 , $k_1 = 4,4$.

Это уравненіе доставитъ

$$v_1 = 50 \sqrt{\frac{330}{410} \times \frac{-(4800 + 4,4 \times 410)}{-(4800 + 5,25 \times 330)}} = 45,1.$$

Расчеты, подобные вышеприведеннымъ, могутъ быть сдѣланы для каждаго участка пути, и такимъ образомъ могутъ быть опредѣлены наибольшія скорости для всѣхъ перегоновъ каждой дороги.

Опредѣленныя такимъ образомъ наибольшія скорости должны быть провѣрены расчетомъ, принимающимъ во вниманіе паробразовательную способность паровознаго котла и окончательное назначеніе можетъ состояться только послѣ указанной повѣрки, доказывающей, что котель можетъ дать достаточное количество пара, и послѣ соображеній, зависящихъ еще отъ способности тормазовъ — болѣе или менѣе быстро останавливать ходъ поѣзда.

Определение наибольшей допустимой скорости движенія поѣзда по свойствамъ тормозовъ.

Относительно тормозовъ надо прежде всего имѣть въ виду, что они ставятся въ поѣздъ, главнымъ образомъ, для того, чтобы избѣжать излишней, погубно дѣйствующей, быстроты остановки, подобной той, которая случается при несчастныхъ случаяхъ схода съ рельсовъ. Слѣдовательно, при выборѣ и устройствѣ тормозовъ, необходимо остановиться на такой ихъ силѣ, при которой достигается возможно большая, но безвредная еще быстрота остановки. Быстрота остановки зависитъ отъ двухъ обстоятельствъ: 1) отъ времени необходимаго для приведенія тормозовъ въ дѣйствіе и 2) отъ силы сцѣпленія, развиваемой тормозами между колесами и рельсами.

Чѣмъ быстрее будетъ приведена тормазная система въ дѣйствіе, тѣмъ она лучше, и вся важность траты времени, при приведеніи тормозовъ въ дѣйствіе, обнаруживается безъ труда, если обратимъ вниманіе на то обстоятельство, что въ каждую лишнюю секунду, потраченную для вызова дѣйствія тормозовъ, поѣздъ пройдетъ столько-же лишнихъ футовъ, сколько верстъ въ часъ прошелъ-бы онъ, если бы двигался безъ измѣненія той скорости, при которой понадобилось приложеніе тормозовъ. Такъ напримѣръ въ поѣздѣ идущемъ 50 верстъ въ часъ, каждая лишняя секунда, потребовавшаяся для приведенія тормозовъ въ дѣйствіе удалить мѣсто остановки поѣзда на лишнихъ 50 футовъ. Наибольшая безвредная сила торможенія еще не была опредѣлена ни какими точными опытами; но изъ нѣкоторыхъ опытовъ можно, кажется, довольно безошибочно полагать, что нажатіе колодокъ на колеса, превосходящее въ 1,5 раза давленіе колесъ на рельсы, уже производитъ остановку, сопровождаемую довольно сильными толчками, и что, слѣдовательно, эта сила должна быть рассматриваема какъ наибольшая допустимая. При такой силѣ дѣйствія тормозовъ колеса сначала катятся, не скользя по рѣльсамъ,

потомъ катятся и скользятъ и, наконецъ, вовсе не катятся, а только скользятъ. Пути, проходимые поѣздомъ при каждомъ изъ этихъ трехъ видовъ движенія колесъ, могутъ быть вычислены по формуламъ, предложеннымъ мною въ сочиненія моемъ о непрерывныхъ тормазныхъ системахъ¹⁾ Хотя наблюденія продолжительности времени, когда колеса катятся и скользятъ и потомъ только скользятъ, крайне затруднительны и не были еще сдѣланы, но только что упомянутые мои расчеты удостовѣряютъ, что въ огромномъ большинствѣ случаевъ два указанныхъ здѣсь состоянія колесъ длятся очень короткое время, и хотя по тѣмъ же вычисленіямъ, при большомъ числѣ тормазовъ въ поѣздѣ, колеса катятся и скользятъ на протяженіи около 10 метровъ, а исключительно скользятъ при передвиженіи впередъ всего на 2 метра, тѣмъ не менѣе, нѣкоторые техники опасаются, что и такіа кратковременныя скольженія уже могутъ быть причиною образованія на колесахъ плоскихъ мѣстъ, способныхъ вызывать болѣе или менѣе значительные удары колесъ объ рельсы. По этимъ причинамъ они считаютъ болѣе правильнымъ ограничиваться лишь такими давленіями тормазныхъ колодокъ на колеса, при которыхъ эти давленія будутъ составлять 75% или не болѣе 100% давленія колесъ на рельсы.

Величина силы, задерживающей поѣздъ, еще не вполне опредѣляется только что упомянутымъ давленіемъ тормазныхъ колодокъ и находится еще въ зависимости отъ коэффициента тренія колодокъ по колесамъ. Величина этого коэффициента довольно не постоянна и при томъ зависитъ и отъ скорости вращенія колесъ, и отъ продолжительности времени, въ теченіи котораго происходитъ треніе между колодками и колесами и отъ какихъ то еще вовсе не изученныхъ причинъ. Приблизительно (съ возможностью, однако, сдѣлать ошибку даже въ $\pm 25\%$) можно принять, что средняя величина коэффициента тренія колодокъ о ко-

1) Извѣстія Технологическаго Института 1878 года и отдѣльная книга.

леса будетъ 0,2, и что, за исключеніемъ особыхъ случаевъ, наименьшая его величина 0,15.

Если всѣ колеса поѣзда будутъ заторможены, то на горизонтальныхъ частяхъ

пути при нажатіи колодокъ силою равною 1,5 1,10 0,75 0,5 вѣсъ вагона
тормозящая сила равна 0,225 0,150 0,112 0,075 » »

или въ килограммахъ на тонну вѣса эта сила была бы 225 150 112 75

Сила, задерживающая поѣздъ, будетъ примерно на 5 килогр. болѣе, и, слѣдовательно, полная сила задерживающая поѣздъ на горизонтальномъ пути, будетъ 230 155 117 80

Силы задерживающія поѣздъ на скатахъ, будутъ меньше, чѣмъ на горизонтали, на столько килограммовъ на тонну, сколько окажется тысячныхъ въ уклонѣ пути, а именно

на скатѣ въ — 0,001	229	154	116	79
0,003	227	152	114	77
0,005	225	150	112	75
10	220	145	107	70
15	207	140	102	65
20	202	135	97	60

Имѣя эту таблицу не трудно вычислить, какія скорости по-

ѣзда могутъ быть допущены на различныхъ уклонахъ, если требуется, чтобы во всѣхъ случаяхъ остановка поѣзда могла произойти на одинаковыхъ разстояніяхъ. Такъ какъ при этомъ условіи, на основаніи уравненія (1), скорости должны быть прямо пропорціональны корнямъ квадратнымъ задерживающихъ силъ, то, стало быть, если означимъ

- v — наибольшую скорость на горизонтали,
- v_i — наибольшую скорость на уклонѣ въ i тысячныхъ,
- k — задерживающую силу на горизонтали,
- k_i — задерживающую силу на уклонѣ i ,

то

$$v_i = v \sqrt{\frac{k_i}{k}} \dots \dots \dots (2)$$

Напримѣръ, при наименьшемъ коэффициентѣ тренія, принятомъ въ предыдущей таблицѣ, на уклонѣ $i = 0,020$ и при $v = 50$,

$$v_i = 50 \sqrt{\frac{60}{80}} = 43,3.$$

Если бы было $v = 60$, а уклонъ $i = 0,008$,

то

$$v_i = 60 \sqrt{\frac{72}{80}} = 57,$$

и тому подобное.

На основаніи вышеизложеннаго, можно опредѣлить для каждой части пути ту наибольшую скорость, которая на ней можетъ быть допущена, принимая въ расчетъ и привычки машинистовъ, и силу тормазовъ, и то основное требованіе, чтобы остановка поѣзда на всякихъ участкахъ пути могла быть достигнута на пространствѣ не болѣе того, на которомъ она достигается при движеніи съ наибольшею дозволенною для горизонтальнаго пути скоростью.

Если-бы въ одномъ или въ нѣсколькихъ вагонахъ дѣйствіе тормазовъ было почему либо прекращено, то допускаемыя наибольшія скорости на всѣхъ участкахъ пришлось бы уменьшить пропорціонально корню квадратному уменьшенія задерживающей

силы. Напримѣръ, если-бы въ данномъ поѣздѣ тормазныя колодки давили на паровозныя колеса силою, равною половинѣ давленія колесъ на рельсы, а въ вагонахъ силою 1,5 раза большею давленія колесъ на рельсы; если-бы тормазныя колеса паровоза и тендера производили давленіе на рельсы 50 тоннъ, а тормазныя колеса вагоновъ поѣзда давили бы на рельсы грузомъ 350 т., и полный грузъ поѣзда былъ-бы 425 тоннъ, то, при коэффициентѣ тренія f и при сопротивленіи поѣзда на тонну k килограммовъ, полная задерживающая сила была бы

$$450k + \frac{1}{2} 50 \times 1000f + 1,5 \times 350 \times 1000 \times f$$

или

$$450k + \times 550000f.$$

Если бы въ двухъ вагонахъ вѣсомъ 70 тоннъ тормаз пере-стали дѣйствовать, то задерживающая сила при тормаженіи стала бы

$$450k + \frac{1}{2} \times 50 \times 1000f + 1,5 \times 280 \times 1000f.$$

или

$$450k + 440000f.$$

Если при дѣйствиіи всѣхъ тормазовъ допускалась наибольшая скорость v , то при бездѣйствіи тормазовъ въ двухъ вагонахъ наибольшая допускаемая скорость v_1 будетъ

$$v_1 = v \sqrt{\frac{450k + 440000f}{450k + 550000f}}.$$

при

$$k = 6 \text{ и } f = 0,15,$$

$$v_1 = 0,87v,$$

и если

$$v = 60, \text{ то } v_1 = 52,$$

$$v = 50, \text{ то } v_1 = 43,5,$$

и т. д.

Если бы давленіе всѣхъ колодокъ на колеса было, напри-

мѣръ, 0,75 давленія колесъ на рельсы, то задерживающая сила была бы при дѣйствіи тормазовъ всѣхъ вагоновъ

$$450 k + 0,75 (50 + 350) \times 1000 f$$

или

$$450 k + 300000 f,$$

а при бездѣйствіи тормазовъ двухъ вагоновъ

$$450 k + 0,75 (50 + 280) \times 1000 f$$

или

$$450 k + 247500 f,$$

при чемъ отношеніе между скоростями v въ первомъ и v_1 во второмъ случаѣ было-бы

$$v_1 = v \sqrt{\frac{450 k + 247500 f}{450 k + 300000 f}},$$

$$\text{при } k = 6 \text{ и } f = 0,15,$$

$$v_1 = 0,91 v,$$

и если, напримѣръ, при дѣйствіи всѣхъ тормазовъ, допускалась на какомъ нибудь уклонѣ скорость

$$v = 43,3,$$

то на томъ же уклонѣ

$$v_1 = 0,91 \times 43,3 = 39,4.$$

Подобными расчетами можно окончательно опредѣлить наибольшія допускаемыя скорости для всѣхъ частей пути и для всѣхъ случаевъ дѣйствія или бездѣйствія тормазовъ. Для практическаго примѣненія такихъ расчетовъ и для устраненія ошибокъ въ случаѣ надобности примѣнять ихъ во время поѣздовъ, при какой нибудь порчѣ тормазовъ, слѣдуетъ составить надлежащія таблицы.

Опредѣленіе средней скорости движенія поѣзда.

Послѣ опредѣленія наибольшей допускаемой скорости движенія, необходимо еще опредѣлять наибольшія достижимыя скорости, и только тогда уже можно будетъ опредѣлять среднюю скорость по формуламъ, указаннымъ въ курсѣ моемъ о сопротивленіи поѣзда, въ §§ 200 и 201.

При паровозѣ даннаго устройства наибольшая достижимая, на данномъ участкѣ пути, скорость зависитъ отъ парообразовательной способности паровознаго котла, отъ размѣровъ цилиндровъ паровозной машины, отъ діаметра ведущихъ колесъ, давленія пара въ котлѣ и отъ сопротивленія какъ паровоза, такъ и поѣзда. Связь между этими величинами указана въ § 202 моего курса и выражено уравненіемъ (199). Рѣшеніе этого уравненія представляетъ весьма большія трудности, и потому, для нѣкотораго облегченія, можно его написать, не дѣлая очень большихъ погрѣшностей, въ слѣдующемъ видѣ:

$$\begin{aligned} & \{ [2,3 + 0,15 v] L + 1,2 Q + 0,6 nv + \\ & \left[\frac{+i + 21}{R-45} \frac{4l_1 + l_1^2}{R-45} + 0,2 - 0,015 \tau \right] (L + Q) \} \frac{m^2 v^2 + k^2}{135} - Sv + 3k = \\ & = \sqrt{(Sv - 3k)^2 + 4w(m^2 v^2 + k^2)} \dots \dots \dots (3) \end{aligned}$$

гдѣ

- L вѣсъ паровоза съ тендеромъ въ тоннахъ;
- Q вѣсъ остальнаго поѣзда въ тоннахъ;
- v скорость въ километрахъ или верстахъ въ часъ,
- l_1 выраженное въ метрахъ разстояніе между крайними осями одного и того же вагона, остающимися всегда взаимно параллельными;
- R выраженная метрами длина радіуса кривизны пути;
- n число трехъ или двухъ колесныхъ вагоновъ или тележекъ;
- τ температура атмосферы въ градусахъ Цельсія, вы-

раженная положительными числами, если выше нуля,
и отрицательными, если ниже нуля;

$$m = 13,9 \frac{p_0}{qF}; \quad k = 270 \frac{D}{d^2 l}, \quad S = 2,136 \frac{p_0^2}{qF}$$

$$\omega = 0,3756 p_0^2 - 2,25.$$

Причемъ d , діаметръ пароваго поршня, долженъ быть выраженъ въ сантиметрахъ; D — діаметръ ведущаго колеса и l — ходъ поршня — въ метрахъ; p_0 — давленіе пара въ котлѣ, безъ вычета давленія атмосферы, — въ атмосферахъ; q — число килограммовъ пара, доставляемаго однимъ квадратнымъ метромъ поверхности нагрѣва въ часъ; F — число квадратныхъ метровъ поверхности нагрѣва.

Если, напримѣръ

$$d = 42; \quad D = 1,6; \quad l = 0,6; \quad p_0 = 8; \quad q = 50; \quad F = 110,$$

то $k = 0,408; \quad m = 0,02017; \quad s = 0,02486; \quad \omega = 22,43.$

Если, сверхъ того,

$$L = 50, \quad Q = 350, \quad l_1 = 1,5, \quad R = 600, \quad i = 8, \quad \tau = 0,$$

то уравненіе (3), опредѣляющее v , приметъ видъ

$$[3939 + 19,5 v] \frac{0,0004 v^2 + 0,166}{135} - 0,02487 v + 1,224 = \\ = \sqrt{(0,02487 v - 1,224)^2 + 89,72 (0,0004 v^2 + 0,166)},$$

или

$$0,000058 v^3 + 0,0115 v^2 - 0,00088 v + 1,224 = \\ = \sqrt{(0,02487 v - 1,224)^2 + 89,72 (0,0004 v^2 + 0,166)},$$

откуда путемъ попытокъ можно убѣдиться, что весьма приблизительно

$$v = 18 \text{ верстъ въ часъ.}$$

Если бы поѣздъ вѣсилъ $Q = 175$ тоннъ, то нашли бы, что,

$$\begin{aligned} & [2329 + 13,5 v] \frac{0,0004 v^2 + 0,166}{135} - 0,02487 v + 1,224 = \\ & = \sqrt{(0,02487 v - 1,224)^2 + 89,72 (0,0004 v^2 + 166)} \end{aligned}$$

или

$$\begin{aligned} & 0,00004 v^3 + 0,0066 v^2 - 0,00827 v + 1,224 = \\ & = \sqrt{(0,02487 v - 1,224)^2 + 89,72 (0,0004 v^2 + 0,166)}, \end{aligned}$$

откуда опять путемъ попытокъ, можно убѣдиться, что весьма приблизительно

$$v = 26 \text{ верстъ.}$$

Средняя скорость можетъ тѣмъ меньше отличаться отъ допущенной наибольшей, чѣмъ больше сила тяги паровоза превосходитъ силу, необходимую для движенія поѣзда, чѣмъ больше пару можетъ развивать паровозный котель, и чѣмъ длиннѣе перегонъ, на которомъ можно идти съ наибольшею скоростію, сравнительно съ полною длиною перегона.

Такъ какъ, при развитіи скорости поѣзда въ началѣ движенія и при уменьшеніи скорости передъ остановкою, всегда теряется нѣкоторое время, и такъ какъ эти потери остаются однѣми и тѣми же, какъ бы ни былъ великъ полный перегонъ, то чѣмъ онъ короче, тѣмъ чувствительнѣе будутъ эти потери, и тѣмъ больше будетъ отличаться средняя скорость отъ наибольшей. Если на длинномъ перегонѣ будутъ встрѣчаться мѣста, требующія тихаго хода, то при подходахъ къ нимъ придется замедлять скорость движенія, и при удаленіи отъ нихъ придется увеличить скорость.

Въ такихъ случаяхъ опять явятся потери времени, и чѣмъ больше такихъ потерь встрѣтится на одномъ перегонѣ, тѣмъ больше будетъ отличаться средняя скорость отъ допущенной наибольшей, и тѣмъ меньше будетъ эта средняя скорость. Среднюю скорость поѣздъ можно вычислить или по тѣмъ формуламъ,

которыя указаны въ моемъ курсѣ сопротивленія поѣзда §§ 200 и 201, или графическимъ путемъ, опредѣливъ предварительно для каждаго болѣе или менѣе длиннаго участка пути наибольшую допустимую или возможную скорость и опредѣливъ постепенность переходовъ отъ одной скорости къ другой, принимая въ соображеніи силу тяги и сопротивленіе; или, наконецъ, среднюю скорость можно опредѣлить, примѣняясь къ движенію обыкновенныхъ поѣздовъ, ходящихъ на дорогѣ въ условіяхъ достаточно близкихъ къ условіямъ движенія даннаго поѣзда.

Такимъ способомъ можно найти среднія скорости движенія для поѣзда каждаго даннаго состава на каждомъ перегонѣ каждой данной дороги, а слѣдовательно и для всякой данной дороги.