В. В. ФАРМАКОВСКІЙ.

Проф. Кіевскаго Политехническаго Института.

1990

КУРСЪ
ТЯГИ И ПОДВИЖНОГО СОСТАВА.

Лекціи читанныя на Инженерномъ отдѣленіи
Кіевскаго Политехническаго Института
въ 1913 - 1914 уч. г.

Второе изданіе.

БИБЛІОТЕКА УЧЕБНАГО КІЕВСКАГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКАГО ИНСТИТУТА

Изданіе Инженернаго Кружка при К.П.И.

Кіевъ.

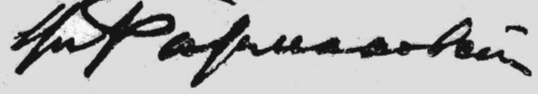
- 1914 -

ПРЕДИСЛОВІЕ КО 2-МУ ИЗДАНІЮ.

Настоящій учебникъ составленъ по программѣ Инженерно-Строительнаго Отдѣленія Кіевскаго Политехническаго Института Императора Александра II. Этимъ объясняется нѣкоторая неравномѣрность въ распредѣленіи матеріала, ибо особенно подробно развиты только тѣ главы курса, которыя имѣютъ интересъ для инженера - строителя желѣзной дороги, а не для механика - конструктора паровозовъ. Поэтому въ курсѣ съ большей полнотой изложены вопросы объ воздѣйствіи паровоза на путь и отдѣлъ тяговыхъ расчетовъ и задачъ. Конструктивное же описаніе паровоза и вагоновъ сдѣлано наивозможно болѣе краткимъ. Еще больше относится это замѣчаніе къ мастерскимъ, о которыхъ дано самое элементарное понятіе.

При второмъ изданіи сдѣланы нѣкоторыя поправки и дополненія по указаніямъ проф. П.Н.Рышкова въ Кіевѣ, читающаго остальные отдѣлы курса желѣзныхъ дорогъ и проф. П.М.Мухачева въ Харьковѣ, имѣвшаго случай подробно рецензировать первое изданіе курса, за что считаю долгомъ выразить здѣсь упомянутымъ лицамъ мою глубокую признательность.

Второе изданіе, какъ и первое, выходитъ въ свѣтъ стараніями студенческаго Инженернаго кружка, принявшаго на себя всѣ хлопоты и расходы по изданію.

Профессоръ 

Кіевъ 1913.
25 октября.

Часть I.

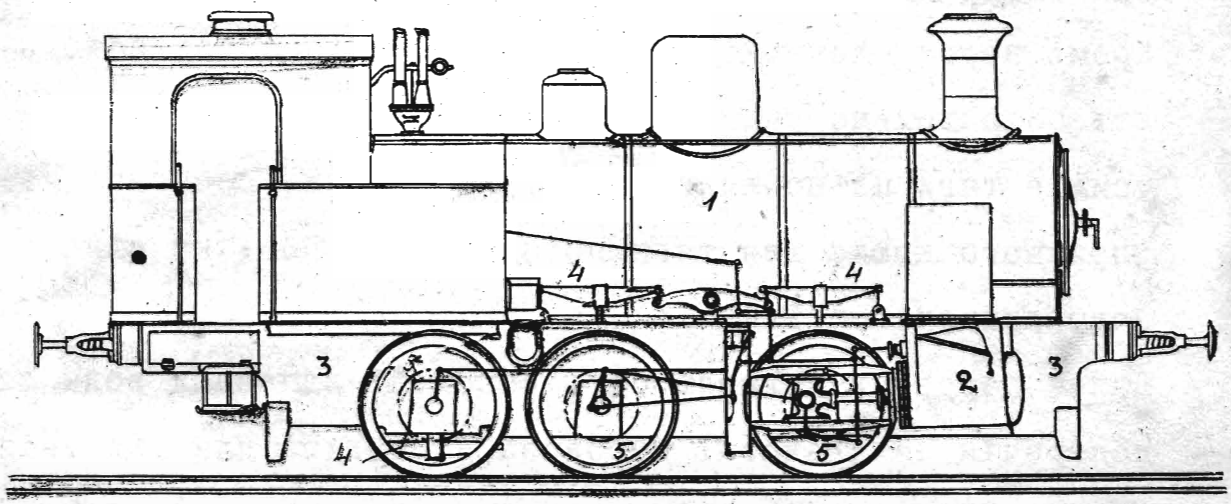
ПАРОВОЗЪ.

Библиотека учебников Киевского политехнического института Императора Александра II

Часть I. ПАРОВОЗЪ.

§ I. Схема устройства паровоза.

Паровозъ представляетъ собою паровую подвижную силовую станцію, предназначенную для передвиженія грузовъ по желѣзнымъ дорогамъ. Схема устройства паровоза въ самыхъ общихъ чертахъ слѣдующая (фиг.I.).



фиг.1

Паровозъ обладаетъ прежде всего производителемъ пара - паровымъ котломъ (I), въ которомъ происходитъ превращеніе скрытой теплоты топлива въ теплоту пара, который затѣмъ и используется въ паровой машинѣ паровоза, именно въ цилиндрахъ (2); непремѣнною принадлежностью паровыхъ цилиндровъ являются поршни, на которые дѣйствуетъ давленіе пара и органы передачи этого давленія на движущія оси; кромѣ того машина обладаетъ пораспредѣлительными приборами.

Котелъ паровоза и паровые цилиндры укрѣпляются на ра-

махъ (3). Вѣсъ рамъ и всѣхъ частей укрѣпленныхъ на рамахъ передается черезъ посредство рессоръ (4), предназначенныхъ для уменьшенія тряски паровоза подъ вліяніемъ неровностей пути, на подшипники (буксы) осей паровоза. Оси паровоза съ надѣтыми на нихъ наглухо колесами (5) образуютъ ходовую часть паровоза, причемъ для поступательнаго движенія паровоза оси его должны быть приведены машиною во вращательное движеніе.

Кромѣ перечисленныхъ главныхъ частей паровозъ обладаетъ обязательно упряжью, помощью которой онъ передаетъ усиліе тяги на подвижной составъ. Упряжь состоитъ изъ упряжного крюка для тяги поѣзда и буферовъ на случай подталкиванія поѣзда.

Далѣе паровозъ долженъ быть снабженъ запасами воды для испаренія ея въ котлѣ паровоза и топлива для дѣйствія котла. Эти запасы помѣщаются, при ограниченной величинѣ запасовъ, на рамахъ самого паровоза въ отдѣльныхъ бакахъ. Тогда паровозъ называется танкъ-паровозомъ (или: тендеръ-паровозъ, ракъ, кукушка и т.п.). Эти паровозы употребляются главнымъ образомъ для маневровой и пригородной службы /ам. фил. 1./

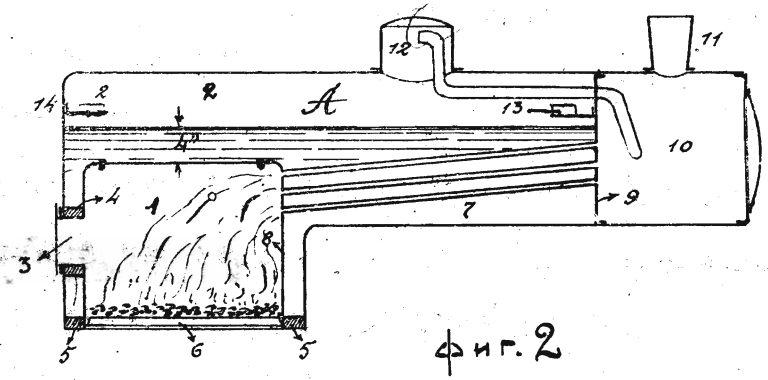
Обычные поѣздные паровозы должны снабжаться большими запасами воды и топлива и возятъ эти запасы въ особомъ экипажѣ - тендерѣ, который слѣдуетъ непосредственно за паровозомъ.

Въ дальнѣйшихъ параграфахъ кратко описано устройство и дѣйствіе перечисленныхъ главныхъ частей паровоза.

Глава I. ПАРОВОЗНЫЙ КОТЕЛЪ.

§ 2. Общее устройство паровознаго котла и его отдѣльныхъ частей. *)

Конструкція паровознаго котла въ томъ видѣ, какъ онъ сейчасъ примѣняется, предложена впервые Бутомъ и Стефенсономъ въ Англіи въ 1829г.и одновременно Сегвеномъ во Франціи. На фиг.2 представленъ продольный разрѣзъ паровознаго котла съ дымогарными трубками.

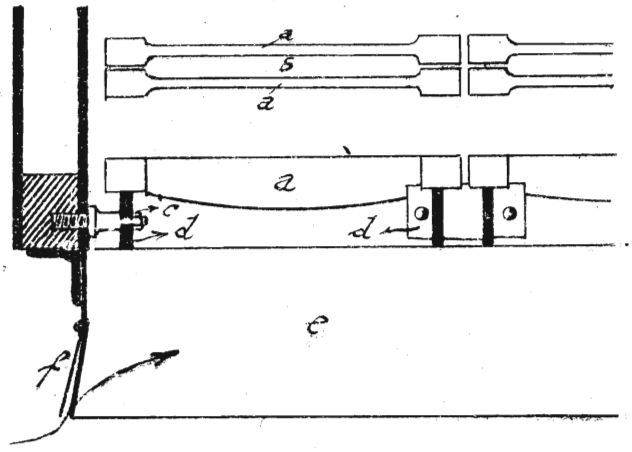


фиг. 2

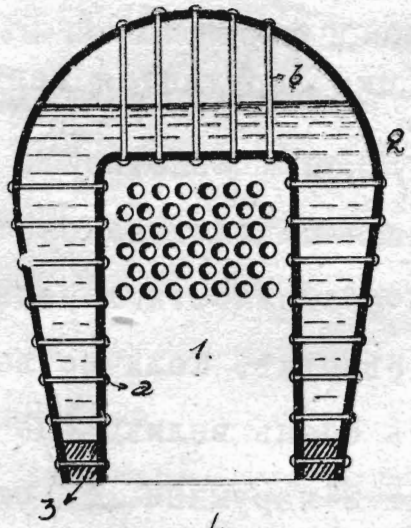
Топка паровоза представляетъ собою внутреннюю топку, имѣющую видъ ящика, опрокинутаго вверхъ дномъ; большей частью топка склепывается изъ листовъ красной мѣди. Внизу топки располагается колосниковая рѣшетка для топлива, деталь которой представлена на фиг.3. Колосниковая рѣшетка состоитъ изъ нѣсколькихъ рядовъ чугунныхъ брусковъ, укладываемыхъ рядомъ, образующихъ благодаря своей формѣ (въ планѣ) рядъ прозоровъ для прохожденія воздуха необходимаго для горѣнія изъ зольника помѣщаю-

*)Для детальнаго знакомства съ котломъ рекомендую: Современная техника ж.д.дѣла, т.I.Паровозы, СПБ.1900г.

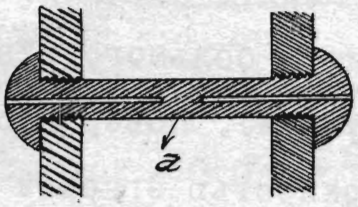
щагося ниже колосниковой рѣшетки. Колосники укладываются на желѣзныхъ балочкахъ, c/ способъ укрѣпленія которыхъ ясенъ изъ чертежа. Мѣдная топка окружается желѣзнымъ кожухомъ соотвѣтственной формы; промежутокъ между кожухомъ и мѣдной топкой внизу заполняется желѣзнымъ обвязнымъ кольцомъ сквозь которое оба листа склепываются. Такое же кольцо вставляется вокругъ вырѣза для топочной дверцы, черезъ которую топливо забрасывается въ топку. Къ нижнему обвязному кольцу помощью угольника подвѣшивается зольникъ, куда проваливается зола съ колосниковъ. Черезъ дверцы зольника f (сзади, иногда и спереди зольника) поступаетъ воздухъ для горѣнія; поэтому зольникъ называется также поддуваломъ. Во избѣжаніе выпучиванія плоскихъ стѣнокъ топки и кожуха подъ дѣйствіемъ внутренняго давленія стѣнки эти укрѣпляются распорными (α) и анкерными (β) связями расположеніе которыхъ изображено на фиг.4, а деталь распорной связи на фиг.5. Связи эти ввинчиваются въ обѣ стѣнки на рѣзьбѣ, концы расклепываются въ головки. Въ распорныхъ связяхъ дѣлаются сверленія, которыя въ случаѣ обрыва связи указываютъ пропариваніемъ на этотъ дефектъ; анкерныя связи не сверлятся.



фиг. 3.



фиг. 4.



фиг. 5.

Кромѣ того для укрѣпленія плоскихъ стѣнокъ служатъ поперечные болты, продольные и иногда наклонные анкера, а также часто листовыя связи, состоящія изъ угольниковъ и листовъ, причемъ помощью этого типа крѣпленія давленіе на плоскую стѣнку передается на боковыя стѣнки кожуха. Указанныя связи видны на фиг. 2 ~~и на фиг. I.~~ (13, 14, 15)

Пространство между топкой (огневой коробкой) и кожухомъ заполнено водой. Нисшій уровень воды допускается не ниже 100 м/м. (4") выше потолка топки. Для контроля машинистовъ и для безопасности въ потолокъ топки ввертываются вѣстовыя легкоплавкія пробки, залитыя внутри оловомъ (температура плавленія 225°С.), которыя выплавляются при обнаженіи потолка топки.

Къ желѣзному кожуху топки приклепывается желѣзная же цилиндрическая часть котла, склепываемая въ свою очередь изъ отдѣльныхъ (2-4) барабановъ. Спереди цилиндрическая часть котла замыкается передней желѣзной трубной доской (9 на фиг. 2) отдѣляющей цилиндрическую часть котла отъ дымовой коробки (10).

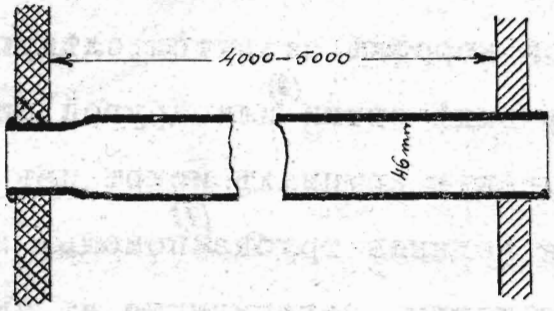
Передняя стѣнка мѣдной огневой коробки дѣлается тоже въ видѣ трубной рѣшетки, т.е. снабжается отверстіями,

въ которыя затѣмъ со стороны дымовой коробки вставляются желѣзныя дымогарныя трубки и укрѣпляются въ рѣшеткахъ помощью развальцеванія (раскатываются для достиженія полной плотности между трубкой и рѣшеткой). Желѣзныя дымогарныя трубки снабжаются мѣдными наконечниками со стороны мѣдной рѣшетки для возможности хорошаго вальцеванія въ мягкой мѣдной рѣшеткѣ. Количество дымогарныхъ трубъ въ котлѣ бываетъ очень велико (до 250--300). Нормальный діаметръ ихъ 2" наружный. Въ случаѣ котловъ съ перегрѣвателями типа Шмидта нѣкоторое количество дымогарныхъ трубъ ставится большого діаметра (18-28 штукъ, діаметръ 133 м/м наружный). Поверхность трубокъ составляетъ вмѣстѣ съ поверхностью огневой коробки поверхность нагрѣва котла H. Въ современныхъ русскихъ паровозахъ величина H достигаетъ 200-250 *qm.*

На верхней образующей цилиндрической части котла дѣлается вырѣзъ и надъ нимъ наклепывается желѣзный колпакъ (12 на фиг. 2) закрытый крышкой; этотъ колпакъ называется сухопаромъ или паросборникомъ и въ немъ помѣщается запорный клапанъ паровой трубы, называемый регуляторомъ. Паровая труба отъ регулятора отводитъ свѣжій паръ къ машинѣ паровоза; она большею частью помѣщается внутри котла и проходитъ сквозь переднюю рѣшетку.

На нижней образующей котла помѣщается 1-2 спускныхъ большихъ люка для спуска воды и для промывки паровоза. Кромѣ того рядъ меньшихъ люковъ и пробокъ для возможности промывки и чистки располагается на кожухѣ топки:

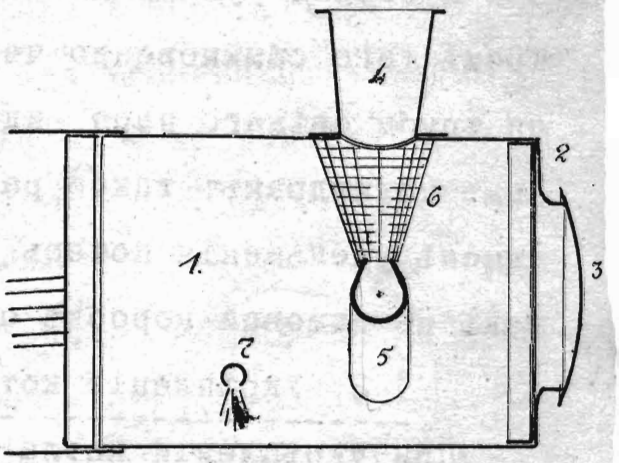
по угламъ на разной высотѣ и по сторонамъ надъ потол-
комъ огневой коробки. Продукты горѣнія изъ топки про-
ходятъ по дымогарнымъ трубкамъ фиг.6 и попадаютъ въ
дымовую коробку фиг.7 котла, которая представляетъ со
бою цилиндрическую камеру, составляющую продолженіе
цилиндрической части котла. На лобовой стѣнкѣ (2) дымовой



фиг. 6.

коробки устраивается
большая дверца (3), необхо-
димая для доступа въ ды
мовую коробку, плотно
притягиваемая къ лобово
стѣнкѣ помощью барашков
или анкерной затяжки.

Сверху на дымовой ко-
робкѣ устраивается вы-
рѣзъ и надъ нимъ ук-
рѣпляется чугунная
или желѣзная корот-
кая дымовая труба (4)
назначеніе которой не
возбуждать тягу, а
лишь отводить продук-



фиг. 7.

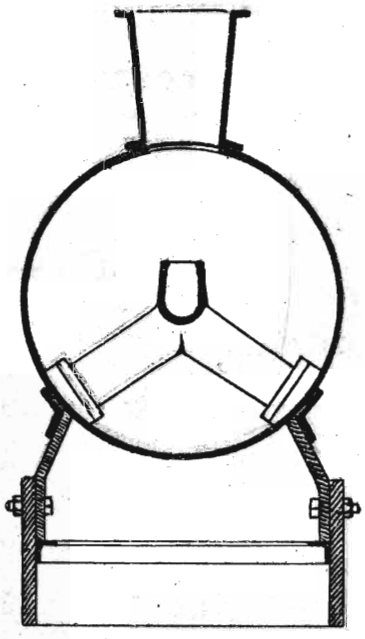
ты горѣнія въ атмосферу. Тяга возбуждается искусствен
но, особымъ приборомъ - конусомъ (5), находящимся подъ ды
мовой трубой внутри дымовой коробки. Приборъ этотъ
представляетъ собою коническую трубу, къ которой при-
соединяются пароотводныя трубы (мятаго пара) отъ паро

выхъ цилиндровъ. Мятый паръ выходитъ изъ конуса съ большой скоростью въ дымовую трубу и энергично увлекаетъ съ собой продукты горѣнія въ атмосферу, создавая этимъ въ дымовой коробкѣ разрѣженіе (100 м/м водяного столба и болѣе). Разность давленій въ зольникѣ топки и въ дымовой коробкѣ и обезпечиваетъ надлежащій притокъ воздуха въ топку.

Кромѣ конуса въ дымовой коробкѣ ставятся слѣдующія приборы: искроловитель въ видѣ сѣтки (6) или другой системы, препятствующій выбрасыванію крупныхъ искръ изъ дымовой коробки; заливательная водяная трубка (7) помощью которой можно заливать крупныя искры, задержанныя въ дымовой коробкѣ и отлагающіяся на ея днищѣ. Часто ставится особый мусорный рукавъ для болѣе легкаго удаленія мусора. Кромѣ того обыкновенно черезъ дымовую коробку проводятся трубы свѣжаго пара, идущія отъ регулятора къ паровымъ цилиндрамъ; такое расположеніе трубъ выгодно въ смыслѣ уменьшенія потерь лучеиспусканія трубами, такъ какъ въ дымовой коробкѣ обычно температура выше 300° С.

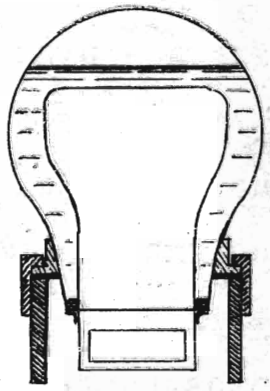
§ 3. Укрѣпленіе котла на рамахъ паровоза.

При укрѣпленіи котла на рамахъ только одну, именно переднюю опору дѣлаютъ неподвижной, т.е. прямо сбалчиваютъ дымовую коробку котла съ междурамнымъ укрѣпленіемъ какъ это показано на фиг. 7, bis причемъ междурамное скрѣпленіе дѣлаютъ или изъ желѣзныхъ листовъ и угольниковъ или въ видѣ цѣлой стальной отливки, ~~какъ указано на фиг. 7.~~



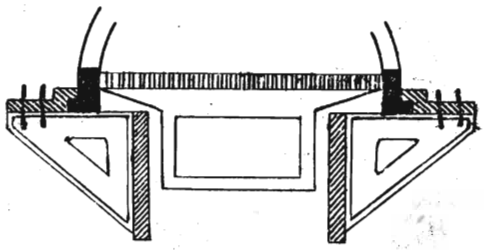
фиг. 7бis.

Вторая опора котла на рамахъ дѣлается сзади у топки. Это укрѣпленіе имѣетъ цѣлью, кромѣ передачи вѣса препятствовать еще поперечнымъ и вертикальнымъ движеніямъ котла, но опора должна непремѣнно давать свободу продольнаго перемѣщенія котла, такъ какъ котелъ отъ нагрѣванія удлиняется на 10-20 м/м (въ зависимости отъ его длины). Поэтому при узкихъ топкахъ (между рамъ) опора дѣлается въ видѣ угольниковъ укрѣпленныхъ на стѣнки кожуха топки и опирающихся на верхнюю, строганую кромку рамъ. Эти угольники захватываются скобами- ухватами, укрѣпленными на рамахъ паровоза, какъ это указано на фиг.8. Въ случаѣ широкой топки, простирающейся надъ рамами (случай часто теперь встрѣчающійся) укрѣпленіе можетъ быть сдѣлано такъ (фиг.9). Обвязное кольцо топки на продольныхъ своихъ частяхъ снабжается сильными привареннымъ выступами, которые передаютъ вѣсъ на кронштейны изъ литой стали прикрѣпленныекъ рамамъ. Къ этимъ же кронштейнамъ прива[illegible]



фиг. 8.

ухваты, которые своими зубьями входятъ въ пазъ, выстроганный на выступѣ обвязного кольца. Назначеніе ухватовъ - лишать котелъ возможности иныхъ перемѣщеній, кромѣ продольныхъ. Въ настоящее время двухъ опоръ для котла находятъ вполнѣ достаточнымъ (напр. паровозы I-3-1 Сормовскаго завода) и никакихъ промежуточныхъ опоръ не дѣлаютъ, тогда какъ прежде ставились еще промежуточныя свободныя опоры - подбрюшники.

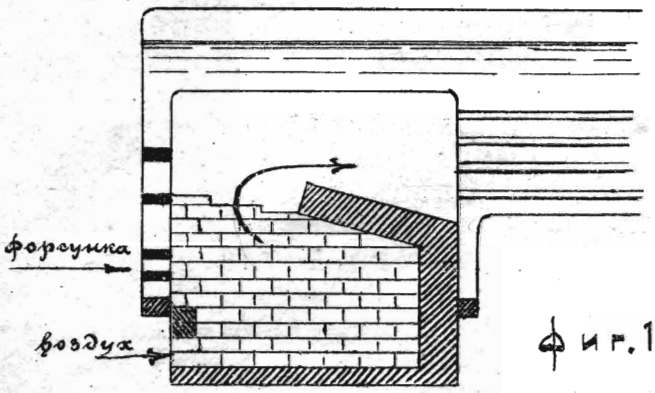


фиг. 9.

§ 4. Особенности котла паровоза при нефтяномъ отопленіи.

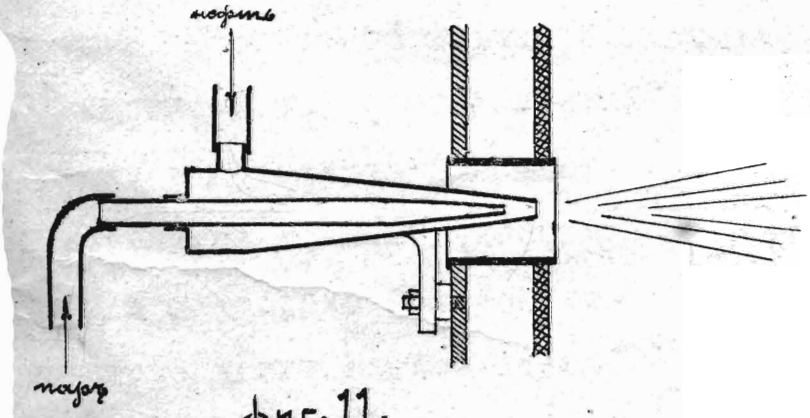
При отопленіи котла нефтью, очень распространенномъ на русскихъ ж.д., колосниковой рѣшетки не дѣлаютъ, ибо топливо сжигается помощью распыливанія его форсункой (горѣлкой - пульверизаторомъ). Вслѣдствіе весьма высокой температуры нефтяного пламени (выше 1600°С.) необходимо принимать мѣры для предохраненія стѣнокъ котла и особенно трубной доски топки отъ непосредственнаго дѣйствія пламени. Для этой цѣли стѣнки топки примѣрно до половины высоты выкладываютъ огнеупорнымъ кирпичемъ, а въ передней части топки перекидываютъ сводъ, служащій для измѣненія направленія продуктовъ горѣнія. Благодаря этому (фиг.10) температура газовъ у трубной

доски уже не такъ высока(≈1000°С.) и не такъ вредно дѣйствуетъ на соединенія трубокъ съ рѣшеткой.



фиг.10.

Воздухъ необходимый для горѣнія нефти подводится въ поддувало сзади въ особыя боковыя корридоры изъ кирпича, выложенныя въ поддувалѣ; благодаря этому воздухъ предварительно подогрѣвается. Нефть распыляется помощью струи пара въ форсункѣ. Какъ примѣръ устройства укажемъ на распространенную форсунку русскаго инженера Уркардта, схема которой изображена на фиг.II. Паръ изъ котла подводится во внутреннюю трубку, нефть изъ тендернаго бака въ наружную часть прибора, причемъ нефть выходитъ изъ сопла черезъ кольцевой промежутокъ образованный внѣшнимъ корпусомъ и паровой трубкой. Паръ подхватываетъ нефть и распыливаетъ ее; пламя имѣетъ метлообразную форму. оличество пара и нефти регулируется кранами на паровой и нефтя-



фиг.11.

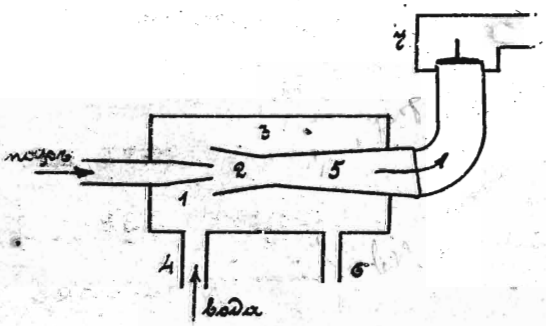
ной трубкѣ; количество нефти кромѣ того регулируется еще и вдвиженіемъ паровой трубки внутрь корпуса прибора.

§ 5. Спеціальная арматура паровознаго котла.

Паровозный котелъ снабжается нѣкоторыми приборами для возможности правильнаго и безопаснаго дѣйствія, которые называются арматурой котла. Здѣсь надо различать арматуру общую, необходимую для любого котла и спеціальную, употребляемую только на паровозныхъ котлахъ. Къ первой относятся: водомѣрное стекло, водопробные краны, питательный клапанъ, спускной кранъ, промывательные люки, манометръ и предохранительный клапанъ. Устройство этихъ приборовъ общеизвѣстно (курсы физики, практической механики и т.д.). Здѣсь же мы разсмотримъ лишь спеціально - паровозную арматуру, а именно: питательный инжекторъ, паровой свистокъ и регуляторъ.

а) Питательный инжекторъ. (ставится обязательно 2 шт.)

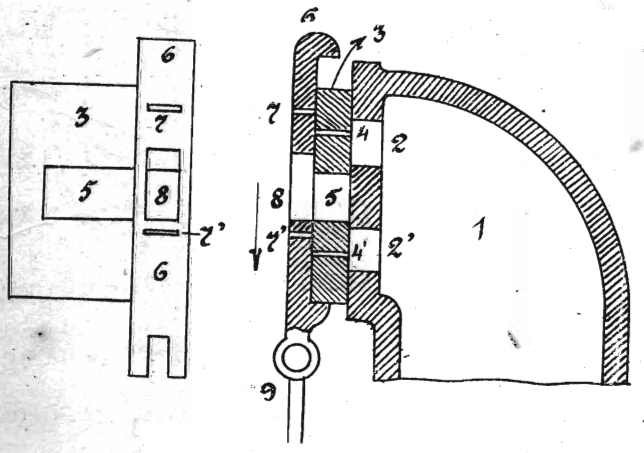
Схема ихъ устройства и дѣйствія такова фиг.I2: черезъ конусъ I пускается паръ въ коробку 3. Паръ вытекаетъ съ большой скоростью и сообщаетъ ее воздуху и водянымъ парамъ, заполняющимъ камеру 3, гоня его въ трубу 2 и производя въ камерѣ 3 разрѣженіе. Вслѣдствіе этого подъ давленіемъ атмосферы въ камеру 3 поднимается вода



Фиг.12

изъ тендернаго водопровода 4. Тогда паръ сообщаетъ скорость частицамъ воды и гонитъ ихъ въ диффузоръ 5, имѣющій обратный конусъ; въ диффузорѣ энергія скорости (кинетическая) вслѣдствіи уменьшенія скорости обращается въ давленіе (потенціальная энергія). Дальше вода идетъ по питательной трубѣ къ питательному клапану 7, который открывается, если давленіе воды на клапанъ снизу, превосходитъ статическое давленіе изнутри котла на клапанъ сверху. При прекращеніи питанія клапанъ 7 автоматически закрывается. Вѣстовая труба 6 дѣлается для того чтобы машинистъ зналъ, что инжекторъ забралъ, ибо тогда изъ вѣстовой трубы перестаетъ сливаться вода, поступающая въ камеру инжектора 3.

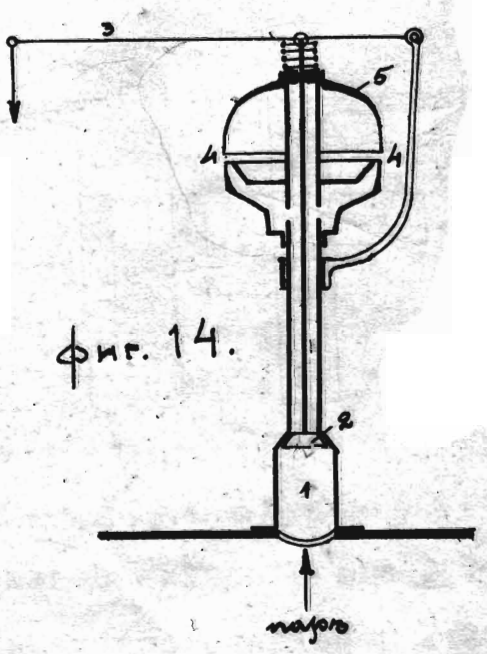
в) Регуляторъ (запорный клапанъ паровой трубы) помѣщается въ сухопарникѣ котла на головкѣ регуляторной трубы, отводящей паръ къ паровымъ цилиндрамъ фиг. 13. Головка регуляторной трубы имѣетъ рабочую плоскость (зеркало) съ двумя отверстіями 2 и 2'. По ней движется бронзовый золотникъ 3 съ двумя отверстіями малой высоты 4 и 4' и однимъ большой высоты 5. По золотнику 3 можетъ передвигаться малый золотникъ 6, находящійся



фиг. 13.

подъ дѣйствіемъ привода 9 изъ будки машиниста. Въ маломъ золотникѣ имѣются отверстія 7 и 8. При движеніи привода въ направленіи стрѣлки малый золотникъ движется внизъ до встрѣчи его лапы съ большимъ золотникомъ. Тогда паръ поступаетъ въ регуляторную трубу I по малымъ каналамъ 7 и 4 , причемъ дросселируется (теряетъ часть давленія). Если двигать приводъ дальше, то начнутъ открываться для прохода пара большіе каналы 2 и 2' въ зеркалѣ регулятора. Такое устройство примѣняется для постепенности открытія регулятора, (во избѣжаніе бросанія воды въ регуляторную трубу при быстромъ пониженіи давленія въ сухопарѣ при быстромъ открываніи регулятора) и для обезпеченія движенія регулятора, такъ какъ, когда регуляторъ открытъ на малый золотникъ, то большой становится въ значительной степени уравновѣшеннымъ и требуетъ меньшаго усилія на свое перемѣщеніе.

c) Паровой свистокъ служитъ для подачи акустическихъ сигналовъ съ паровоза (фиг.I4). Паръ изъ котла поступаетъ по трубкѣ I къ клапану 2, открывающемуся изъ будки машиниста помощью привода 3. При открытомъ клапанѣ 2 паръ выходитъ по кольцевой щели 4 подъ кромкой колокола 5 и приводитъ



фиг. 14.

колоколъ, а вмѣстѣ съ нимъ ~~тѣло~~ и находящійся въ немъ воздухъ въ колебательное состояніе, которое выражается звукомъ. Чѣмъ объемъ колокола больше, тѣмъ большее количество воздуха принимаетъ участіе въ колебаніяхъ и звукъ дѣлается сильнѣе. Длинный колоколъ даетъ длинную звуковую волну, которая соотвѣтствуетъ высокому тону (свистокъ), малая высота колокола даетъ короткую волну и низкій звукъ (гудокъ).

§ 6. Полезное дѣйствіе котла.

Тепловой балансъ котла паровоза.

При дѣйствіи паровознаго котла не вся теплота, содержащаяся въ топливѣ переходитъ въ теплоту пара, значительная часть теплоты теряется. Прежде всего возникаютъ потери въ топкѣ вслѣдствіе неполнаго горѣнія, ибо часть топлива въ не вполнѣ сгорѣвшемъ видѣ проваливается въ зольникъ, такой же неперегорѣвшій еще коксъ выносится дѣйствіемъ тяги воздуха въ дымовую коробку (изгарь). Содержаніе въ продуктахъ горѣнія окиси углерода CO показываетъ на несовершенство горѣнія, вслѣдствіе чего тоже получается тепловая потеря, ибо CO можетъ сгорѣть еще въ углекислоту CO_2 съ большимъ выдѣленіемъ тепла. Далѣе не вся выдѣлившаяся теплота утилизируется котломъ, ибо продукты горѣнія выходящіе въ дымовую коробку имѣютъ высокую температуру въ 300 - 400°C., причемъ теплота газовъ уносится непроизводительно въ трубу. Наконецъ часть теплоты котелъ лучеиспускаетъ въ

воздухъ (остываніе котла), что особенно чувствуется въ зимніе мѣсяцы, когда расходъ топлива сильно увеличивается. Отношеніе количества единицъ теплоты полученаго въ котлѣ пара W_1 къ количеству единицъ теплоты сожженаго въ топкѣ топлива W называется коэффиціентомъ полезнаго дѣйствія котла $\eta_к = \frac{W_1}{W}$. Среднія значенія $\eta_к = 0{,}6 - 0{,}75$; онъ тѣмъ больше, чѣмъ меньше скорость движенія поѣзда и чѣмъ меньше интенсивность горѣнія въ топкѣ (см.слѣд.§). При коэффиціентѣ $\eta_к = 0{,}6$ въ лѣтнее время балансъ теплоты складывается примѣрно такъ:

Полезная теплота пара.....	60 %
Потеря въ топкѣ (неполнота и несовершенство горѣнія.....	10 %
Потеря съ дымомъ.....	25 %
Лучеиспусканіе котла.....	5 %
	100 %.

Изъ топливъ для паровозовъ чаще всего употребляется у насъ въ Россіи дрова, донецкій и домбровскій каменные угли, нефтяные остатки (мазутъ) и рѣдко антрацитъ. характеристика этихъ топливъ по проф. Киршу дана ниже:

	W kal/kg полезная	Вѣсъ 1 м³	Температ. горѣнія при 1% избытк. возд. °C.
для дровъ.....	3150	570	1430
донецкаго рядового угля..	6440	800	1680
рядового антрацита.....	6630	800	1630
нефтяныхъ остатковъ.....	10000	900	1540

§ 7. Работа паровознаго котла: парообразовательная способность топлива, интенсивность парообразованія и живость горѣнія въ топкѣ.

Результатомъ сжиганія топлива на колосниковой рѣшеткѣ является парообразованіе въ котлѣ. Мы выяснили, что изъ W единицъ теплоты I kg топлива въ теплоту пара переходитъ только $\eta_k W$ cg теплоты. Поэтому, если намъ дана теплота пара (полагая температуру питательной воды=0°) λ, то при сжиганіи I kg топлива получится $\frac{\eta W}{\lambda}$ kg насыщеннаго сухого пара. Величина $\frac{\eta W}{\lambda} = \mathcal{D}/B$ называется испарительной способностью топлива и обозначается обыкновенно какъ $\mathcal{D}/B$ гдѣ $\mathcal{D}$ часовой расходъ пара, а B часовой расходъ топлива въ kg. Испарительная способность различныхъ топливъ при различныхъ η приведена ниже (для среднихъ давленій IO - I2 atm.).

Испар. способность $\mathcal{D}/B$ для:	η =	0,5	0,6	0,7
дровъ.....		2,2	2,7	3,I
угля.....		4,2	5,0	5,8
антрацита.....		5,I	6,2	7,2
нефтян. остатковъ.		7,3	8,7	I0,2

Если мы возьмемъ отношеніе между часовымъ расходомъ пара и величиной поверхности нагрѣва котла, то мы получимъ цифру выражающую интенсивность дѣйствія поверхности нагрѣва или такъ называемую интенсивность парообразованія $\mathcal{D}/H$. Эта величина зависитъ прежде всего именно отъ парообразовательной способности топлива $\frac{\mathcal{D}}{B}$.

Именно, если мы знаемъ ее, то величина $\frac{D}{B} \cdot B$ дастъ намъ величину расхода пара и слѣдовательно интенсивность дѣйствія поверхности нагрѣва выразится величиною $\frac{D}{B} \cdot \frac{B}{H} = \frac{D}{H}$. Такъ какъ отношеніе $\frac{D}{B}$ намъ извѣстно, то величина $\frac{D}{H}$ зависитъ отъ $\frac{B}{H}$, которое можно представить въ видѣ $\frac{B/R}{H/R}$, гдѣ R площадь колосниковой рѣшетки. Мы видимъ, что интенсивность парообразованія тѣмъ больше, чѣмъ меньше отношеніе $\frac{H}{R}$, т.е. чѣмъ больше колосниковая рѣшетка R при данной поверхности нагрѣва H. Это отношеніе въ паровозахъ бываетъ въ предѣлахъ отъ $\frac{H}{R} = 40 - 50$ для пассажирскихъ паровозовъ и до 60-70 въ товарныхъ. Съ другой стороны интенсивность парообразованія тѣмъ больше, чѣмъ больше величина $\frac{B}{R}$, которая есть часовое количество топлива сгорающее на I qm. колосниковой рѣшетки или такъ называемая живость горѣнія. Среднія значенія величины $\frac{B}{R}$ даны ниже въ kg.

	дрова	уголь	антрац.	нефть
Паровозы пассажирскіе	500-650	400-500	I50-200	500-600
Паровозы товарные	450-600	до 400	I00-I50	до 500

При этомъ получаются среднія значенія интенсивности парообразованія для различныхъ родовъ топлива $\frac{D}{H}$:

для дровяного отопленія.... 26 - 45
" каменнаго угля..... 30 - 60
" антрацита..... 50 - 75
" нефтяныхъ остатковъ.... 60 - 80

причемъ меньшія значенія для товарныхъ паровозовъ и большія для пассажирскихъ.

Дѣйствительная температура въ поясѣ горѣнія въ среднемъ получается равной для дровъ около 1100°С., для угля 1100-1300°С., для антрацита 1300-1400°С. и для нефтяныхъ остатковъ до 1600°С. . Температура продуктовъ горѣнія около задней рѣшетки обычно уже около 800-1000°С., при выходѣ изъ дымогарныхъ трубокъ въ дымовую коробку 300-500° въ зависимости отъ длины котла и силы дѣйствія конуса.

Получаемый въ котлѣ паръ бываетъ не сухой насыщенный, а содержитъ нѣкоторое количество воды въ капельномъ видѣ (тончайшая роса), причемъ нормальная влажность пара бываетъ въ предѣлахъ 5 - 8 %, но подъ вліяніемъ вскипанія вслѣдствіе грязи, масла и другихъ причинъ, легко можетъ увеличиваться до 10-20 %, считая по вѣсу. Для отдѣленія этой воды въ сухопарѣ ставятся особые водоотдѣлительные приборы, рѣдко однако приносящіе сколько-нибудь замѣтную пользу.

Продуктивность паровозныхъ котловъ огромна. Напримѣръ при поверхности нагрѣва въ 250 *qm.* и при интенсивности парообразованія 50 *kg/cm qm.* количество доставляемаго пара будетъ 12500 *kg.* въ часъ. Если бы замѣнить этотъ Котелъ котлами ланкаширскими съ естественной тягой, то пришлось бы взять 10 котловъ, съ поверхностью нагрѣва около 100 *qm.* каждый! Такая продуктивность паровознаго котла объясняется главнымъ образомъ искусственной тягой помощью конуса, который создаетъ сильное разрѣженіе въ дымовой коробкѣ. Связь между живостью горѣнія

$\frac{B}{R}$ и необходимымъ разряженіемъ выяснена въ слѣдующемъ параграфѣ.

§ 8. Живость горѣнія $\frac{B}{R}$ и ея зависимость отъ разряженія въ дымовой коробкѣ.

стью горѣнія топлива называется количество угля, сгорающее въ часъ на I qm колосниковой рѣшетки. Полное количество топлива, сгорающее въ топкѣ въ часъ B можетъ быть представлено какъ $B = R \cdot \frac{B}{R}$, гдѣ

R – площадь колосн. рѣш. кв. метр.

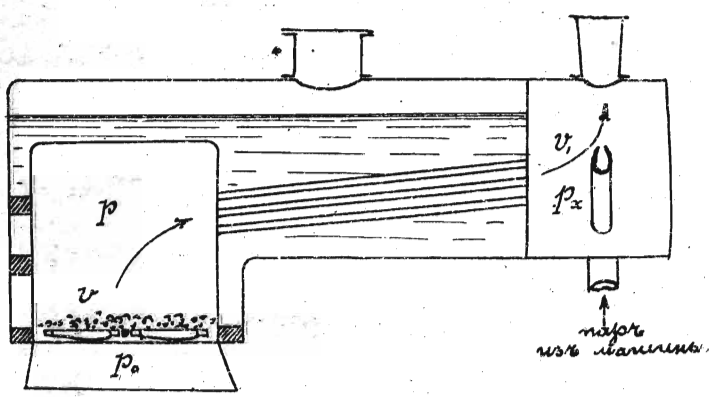
$\frac{B}{R}$ – живость горѣнія.

Для сгоранія B $kg.$ топлива въ часъ въ топку необходимо ввести αB $kg.$ воздуха, гдѣ $\alpha = 10-15$ и зависитъ отъ химическаго состава топлива и его физическихъ свойствъ. Для того, чтобы ввести αB $klg.$ воздуха въ часъ надо между частицами угля развить скорость воздуха

$$v = \frac{\alpha B}{\Delta . 3600 . \Omega} \; m/s$$

гдѣ Δ – вѣсъ 1кб. метра воздуха

Ω – площадь живого сѣченія между частицами топлива въ $q\,m.$



фиг. 15.

Для развитія скорости v необходимо, чтобы давленіе въ топкѣ p было меньше давленія атмосферы p_0 въ зольникѣ. Это давленіе p опредѣляется по закону Д. Бернулли изъ

Формула $\frac{p_0 - p}{\Delta} = \frac{v^2}{2g} + h_в$ ..... [1]

$\frac{v^2}{2g}$ - высота, соответств. скорости, гдѣ

$h_в$ - высота, соответств. сопротивленію воздуха въ слоѣ топлива. p и p_0 въ kg/q m.

По сгараніи въ топкѣ образуется $(1+\alpha)\,B$ klg. продуктовъ горѣнія. Для ихъ удаленія необходимо при выходѣ изъ трубокъ въ дымовую коробку развить скорость истеченія

$$v_1 = \frac{(1+\alpha)\,B}{3600\,\Delta_1\,\Omega_1} \; m/s \quad \text{гдѣ}$$

$\Delta_1 \cong \Delta$ -вѣсъ 1кб. м. прод. горѣнія x)

Ω_1 - площадь живого сѣченія дымог. трубокъ.

Это выраженіе можетъ быть написано въ видѣ

$$v_1 = \frac{(1+\alpha)\,B}{3600.\Delta.\Omega_1} \cdot \frac{R}{R} = K\frac{B}{R} \; m/s$$

Для развитія этой скорости необходимо, чтобы давленіе въ дымовой коробкѣ p_x было меньше давленія въ топкѣ p. p_x опредѣлится по уравненію Бернулли для теченія газовъ на пути отъ топки до дымовой коробки.

$$\frac{p - p_x}{\Delta} = \frac{v_1^2}{2g} + h_г - \frac{v^2}{2g} \quad \ldots\ldots (2).$$

гдѣ $\frac{v_1^2}{2g}$ -высота, соотв. скорости v_1

$h_г$ -высота гидравл. сопрот. при теченіи газовъ по трубамъ.

---

x) Хотя предположеніе $\Delta = \Delta_1$, и не вѣрно, но оно сильно упрощаетъ выводъ и пріемлемо, такъ какъ ошибка, которую мы дѣлаемъ не такъ велика, [illegible] Δ_1 при 225° $\cong 0{,}7$, а Δ воздуха при 250° $\cong 0{,}7$, а до этой

* воздухъ подогрѣвается въ зольникѣ и между колосник

Складывая уравненія (I) и (2) получимъ

$$\frac{p_0 - p_x}{\Delta} = \frac{K^2}{2g} \cdot \left(\frac{B}{R}\right)^2 + h_в + h_ч$$

Сопротивленіе $h_в$ при проходѣ топлива можетъ быть принято пропорціональнымъ толщинѣ слоя топлива, а послѣдняя есть функція $\frac{B}{R}$. Поэтому $h_в = \lambda \frac{B}{R}$. Здѣсь λ въ среднемъ равно:

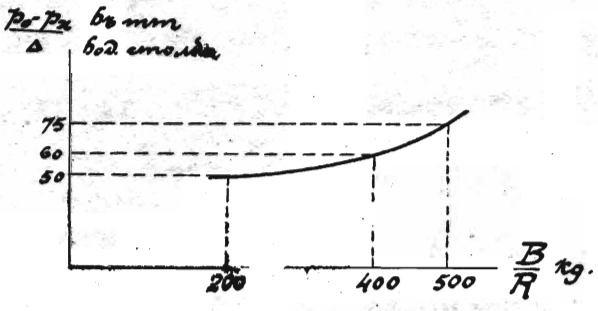
для нефтянного отопленія..... λ = 0,00
" дровъ..... " = 0,0I
" кардифскаго угля..... " = 0,02
" спек. донецк. угля..... " = 0,09
" антрацита..... " = 0,22

Сопротивленіе $h_ч$ можетъ быть принято около 0,04 $^{m}/_{m}$ вод. столба на I m. погонный длины одной нормальной дымогарной трубки діаметра 50 $^{m}/_{m}$. Поэтому наше уравненіе можетъ быть написано въ видѣ:

$$\frac{p_0 - p_x}{\Delta} = \frac{K^2}{2g}\left(\frac{B}{R}\right)^2 + \lambda\left(\frac{B}{R}\right) + h_ч$$

Величина $\frac{p_0 - p_x}{\Delta}$ получимъ въ $^{kg}/_{q\,m}$, что соотвѣтствуетъ $^{m}/_{m}$ водяного столба, ибо I atm = I0000 $^{kg}/_{q\,m}$ = I0000 $^{m}/_{m}$ водяного столба. Δ можно положить = I kg/atm.

Профессоромъ *Goss'* омъ въ Университетѣ *Pardue* (Америка) произведены были лабораторныя испытанія, которыя вполнѣ подтверждаютъ характеръ выведеннаго закона. Мы воспроизводимъ кривую Госса для мелкаго каменнаго угля (фиг.I6). Въ среднемъ разрѣженіе въ дымовой коробкѣ, поддерживаемое конусомъ бываетъ



Фиг. 16.

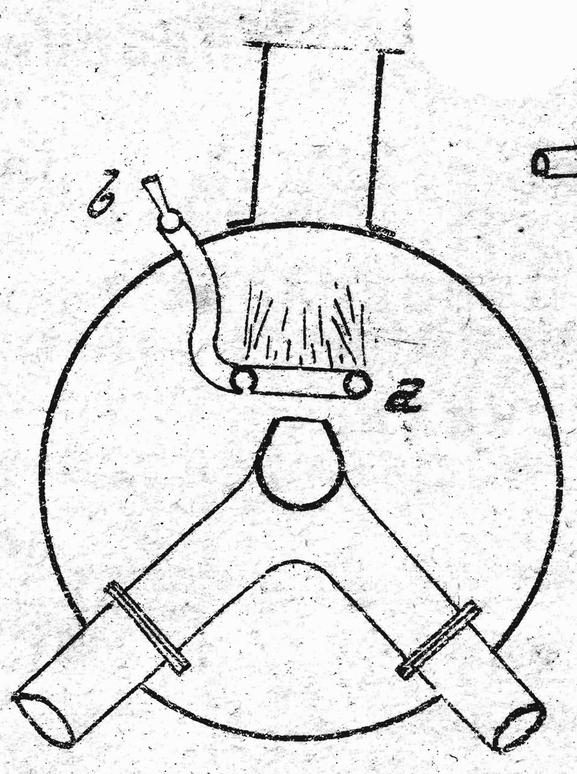
50 - 100 m/m и болѣе водяного столба для паровозовъ товарныхъ и 100 - 200 m/m и болѣе для паровозовъ пассажирскихъ.

Библиотека Киевского Политехнического института Императора Александра II

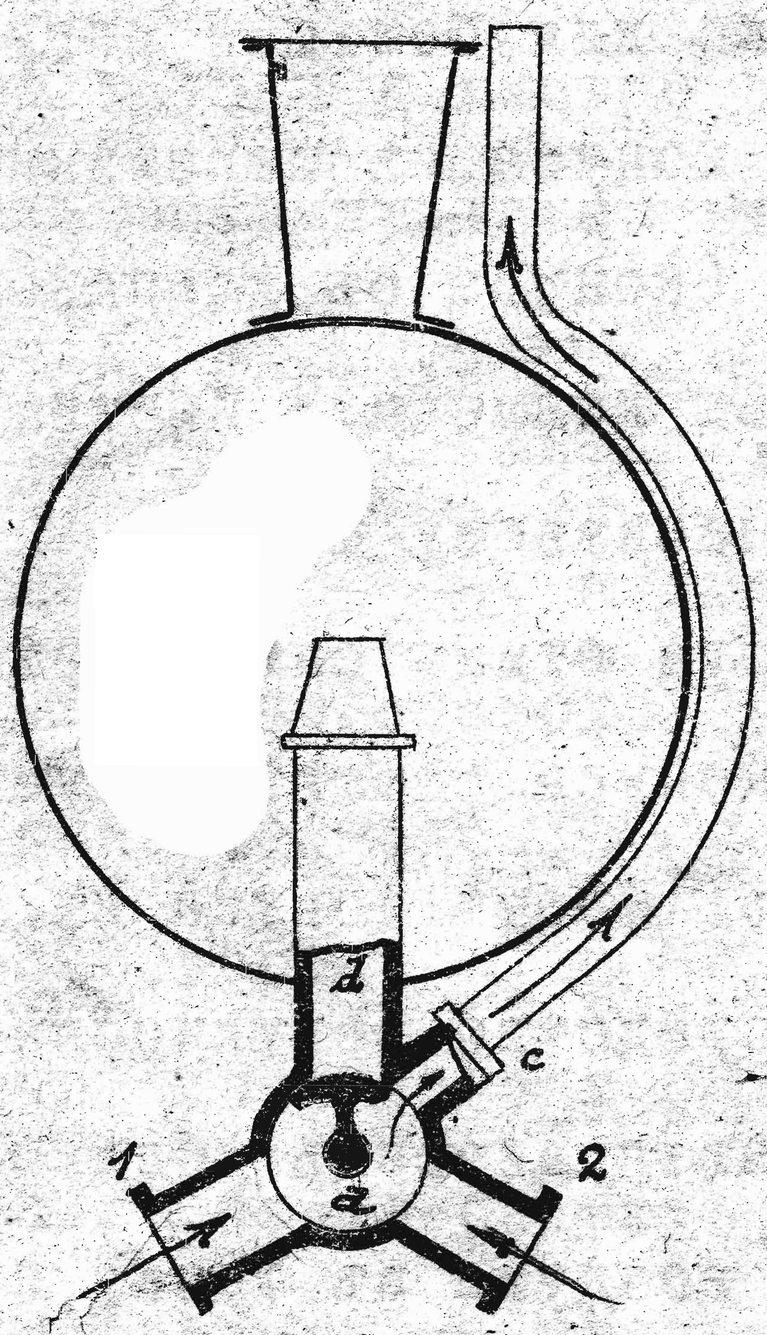
§ 9. Регулированіе работы котла.

Конусъ является до извѣстнаго предѣла приборомъ самым регулирующимся. Если расходъ пара машины повышается, то увеличивается скорость истеченія пара черезъ конусъ что повышая разряженіе въ дымовой коробкѣ, производитъ усиленный притокъ воздуха въ топку, а это позволяетъ сжигать больше топлива въ I времени и получать большее количество пара и наоборотъ. Однако для большей регулируемости горѣнія примѣняютъ еще конуса съ перемѣнной площадью выходного сѣченія конуса (конуса съ клапанами и съ грушей; образцы ихъ имѣются въ коллекціи Института), которую машинистъ по своему произволу можетъ уменьшать или увеличивать, регулируя этимъ силу горѣнія въ топкѣ. Уменьшеніе площади конуса соотвѣтствуетъ усилію парообразованію и наоборотъ. Кромѣ конуса въ рукахъ машиниста есть еще другое средство регулированія работы котла - измѣненіе открытія дверецъ поддувала, которыми регулируется притокъ воздуха въ топку путемъ измѣненія сопротивленія при проходѣ его черезъ дверцы поддувала. При стоянкѣ паровоза, когда конусъ

не дѣйствуетъ, а имѣется надобность въ энергичномъ горѣніи, пользуются сифономъ *a* . Это трубка фиг.17 съ краномъ, соединенная съ паровымъ пространствомъ котла. Трубка оканчивается кольцомъ съ дырочками, которыя располагаются подъ трубою и надъ конусомъ. Открывая кранъ *б* пускаемъ паръ въ сифонъ и онъ выходя въ дымовую трубу производитъ разрѣженіе въ дым. коробкѣ, только не столь энергично какъ конусъ. Сифономъ пользуются при разводкѣ пара въ котлѣ и при остановкахъ на станціяхъ для улучшенія горѣнія. Иногда (при троганіи паровоза съ мѣста и при ѣздѣ по уклонамъ) желательно бываетъ ослабить разрѣженіе въ дымовой коробкѣ. Это достигается модераторами. На фиг. 18 представленъ модераторъ Зяблова, принятый на русскихъ ж.д. Отработанный паръ отъ цилиндровъ поступаетъ по трубамъ I и 2 въ цилиндрическій сосудъ *a* откуда онъ можетъ идти или въ конусъ *d* или въ обводную трубу C снаружи дымовой коробки въ зависи-



фиг. 17.



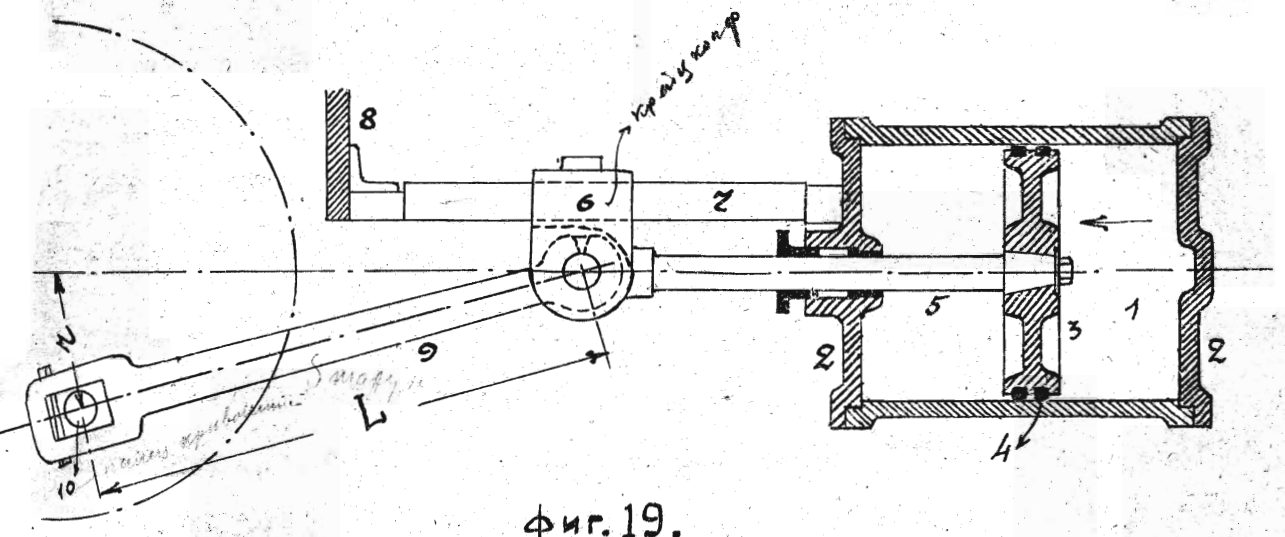
фиг. 18.

мости отъ положенія клапана 2 (на фиг. поворотъ вправо на 80°) въ послѣднемъ случаѣ отработанный паръ, выходя внѣ дымовой коробки не производитъ разрѣженія въ топкѣ.

Глава II. УСТРОЙСТВО И ДѢЙСТВІЕ МАШИНЫ ПАРОВОЗА.

§ 10. Устройство машины паровоза.[x]

Здѣсь мы лишь въ нѣсколькихъ словахъ напомнимъ устройство паровой машины, извѣстное по курсу практической механики. Машина состоитъ (фиг.19) изъ парового цилиндра I, закрытаго крышками 2. Давленіе пара переда-



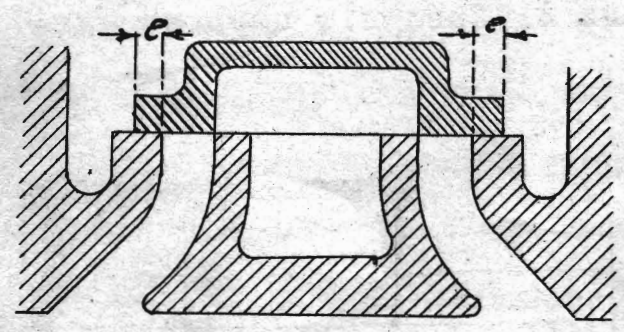
фиг.19.

етося на дисковый (стальной) поршень 3 съ уплотняющими самопружинящими кольцами 4 (чугуна). Поршень насаженъ на штокѣ 5 соединенный съ крейцкопфомъ 6, движущимся по направляющей (или параллели) 7. Послѣдняя укрѣпляется одной сторопой къ крышкѣ цилиндра, другой къ особо-

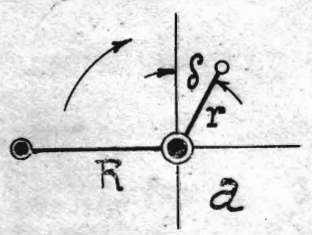
[x]Для детальнаго ознакомленія съ конструкціей и разсчетомъ паровозной машины рекомендую: Современная техника ж.д.дѣла Т.I:Паровозы СПБ. 1900.

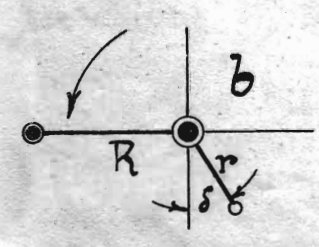
му кронштейну 8 (державка параллелей). Прямолинейно - возвратное движеніе крейцкопфа помощью ведущаго шатуна 9 и пальца кривошипа IO, впрессованнаго въ колесный центръ, преобразуется въ вращательное движеніе ведущаго колеса.

Для распредѣленія пара служатъ обыкновенные коробчатые золотники фиг. 20 (часто сист. Трика съ двойнымъ впускомъ) или же золотники поршневые. Для возможности наполненій меньше 100% золотники получаютъ внѣшнюю перекрышку e Внутренняя перекрышка обычно равна 0 или отрицательна для уменьшенія сжатія. Перемѣнное наполненіе достигается измѣненіемъ длины хода золотника, т.е. измѣненіемъ величины эксцентриситета (равнодѣйствующаго) аксцентрика.



фиг. 20.

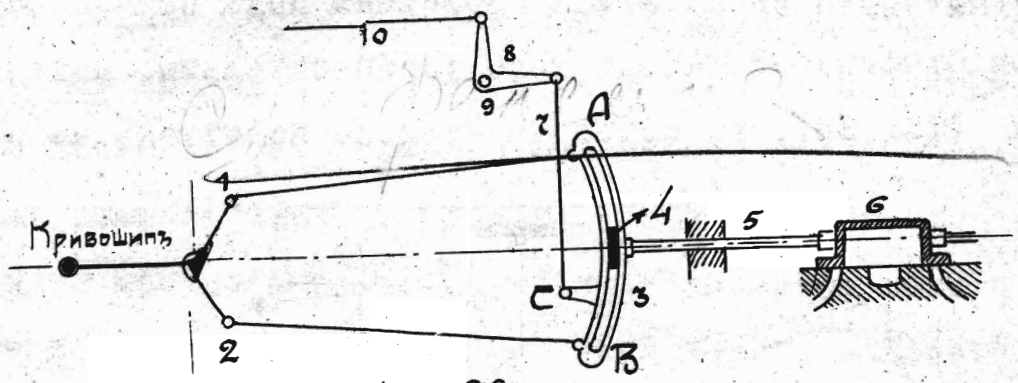




фиг.21.

Для достиженія предваренія впуска эксцентриситетъ этотъ всегда долженъ имѣть уголъ опереженія δ, т.е. заклиненъ къ кривошипу подъ угломъ $(90 + \delta)$ - черт.21. Если машина работаетъ всегда переднимъ ходомъ, то эксцентриситетъ долженъ быть насаженъ по эскизу a, для достиженія же задняго хода машины по эскизу b

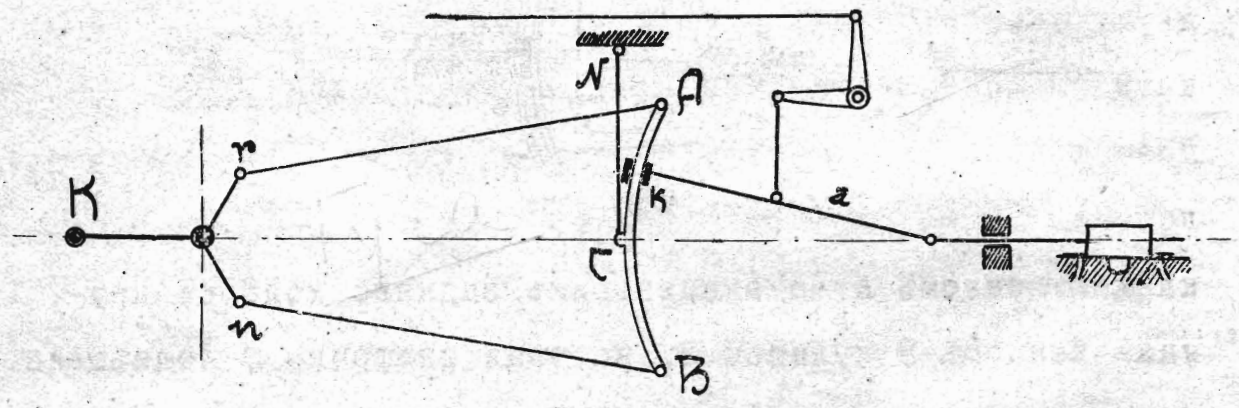
Такъ какъ паровозъ долженъ работать и на передній и на задній ходъ, очевидно должны быть оба эксцентрика на валу, а золотникъ по желанію получать движеніе или отъ одного или отъ другого эксцентрика. Послѣднее достигается помощью такъ называемыхъ кулиссныхъ механизмовъ. Эксцентрикъ (фиг.22) передняго хода I соединяется съ



фиг. 22.

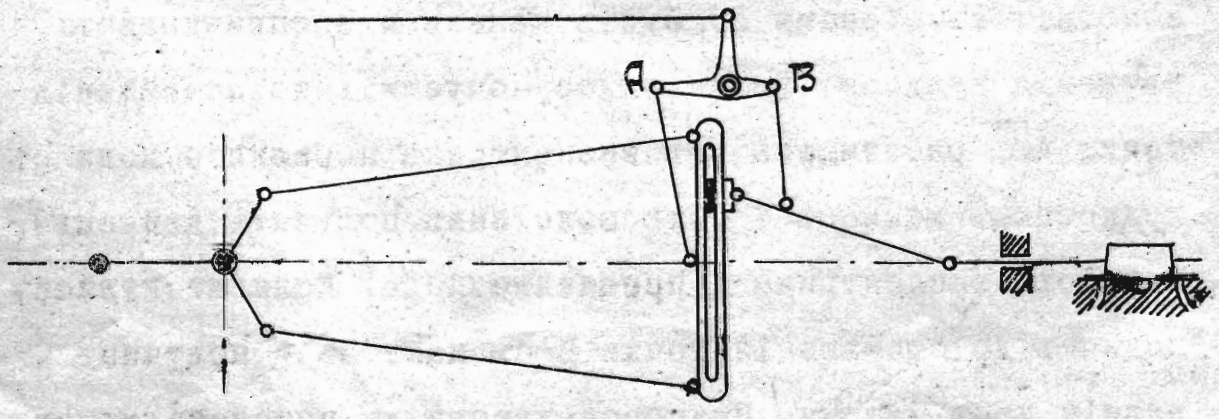
однимъ концомъ А, а эксцентрикъ задняго хода съ другимъ концомъ В кулиссы 3, которая за точку С подвѣшена тягою 7 къ угловому рычагу 8, насаженному на переводной валъ 9. Тягою 10 изъ будки машиниста можно поднимать и опускать кулиссу. Въ прорѣзѣ кулиссы 3 помѣщается по оси машины кулиссный камень 4, соединенный съ золотникомъ штокомъ 5. Этотъ камень и воспринимаетъ движенія кулиссы. Если кулиссу опустить до совмѣщенія точки А , работающей отъ эксцентрика передняго хода съ кулиссным камнемъ 4 , то золотникъ получитъ движеніе, какъ отъ эксцентрика I передняго хода. Если же кулиссу поднять до совмѣщенія точки В съ камнемъ - получимъ задній ходъ машины. При промежуточныхъ положеніяхъ кулиссы между среднимъ и крайними получимъ движеніе зо

лотника или для передняго или для задняго хода, но величина хода золотника будетъ меньше, а вмѣстѣ съ этимъ будетъ меньше и степень наполненія цилиндровъ. Такимъ образомъ кулиссный механизмъ служитъ для перемѣны хода и измѣненія степени напелненія цилиндровъ. Описанный механизмъ изобрѣтенъ въ 1842г. Вилліамомъ Гоу на заводѣ Стефенсона въ Англіи и извѣстенъ подъ названіемъ кулиссы Стефенсона. Кромѣ него употребительны: механизмъ Гуча (фиг.23), въ которомъ кулисса подвѣшена къ посто-



фиг. 23.

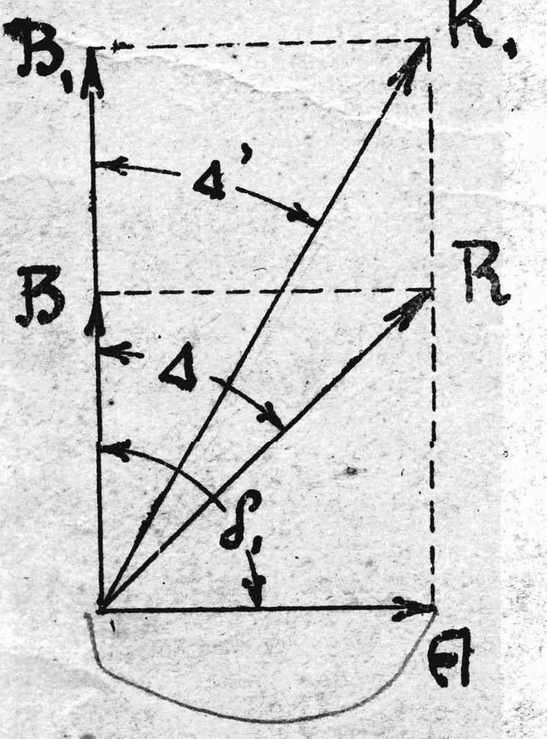
янной точкѣ N на рамахъ паровоза, а кулиссный камень K соединенъ съ золотниковымъ штуномъ a, который и под-



фиг. 24.

вѣшенъ къ переводному валу; а также механизмъ Аллана (фиг.24) въ которомъ подвѣшенн и прямая кулисса и золотниковый шатунъ къ неравноплечему рычагу АВ на переводномъ валѣ. Такимъ образомъ достигается взаимное перемѣщеніе кулиссы и камня. Всѣ эти механизмы употребляются теперь рѣдко, вновь же строятъ паровозы съ кулисснми механизмами, основаннными на другомъ принципѣ.

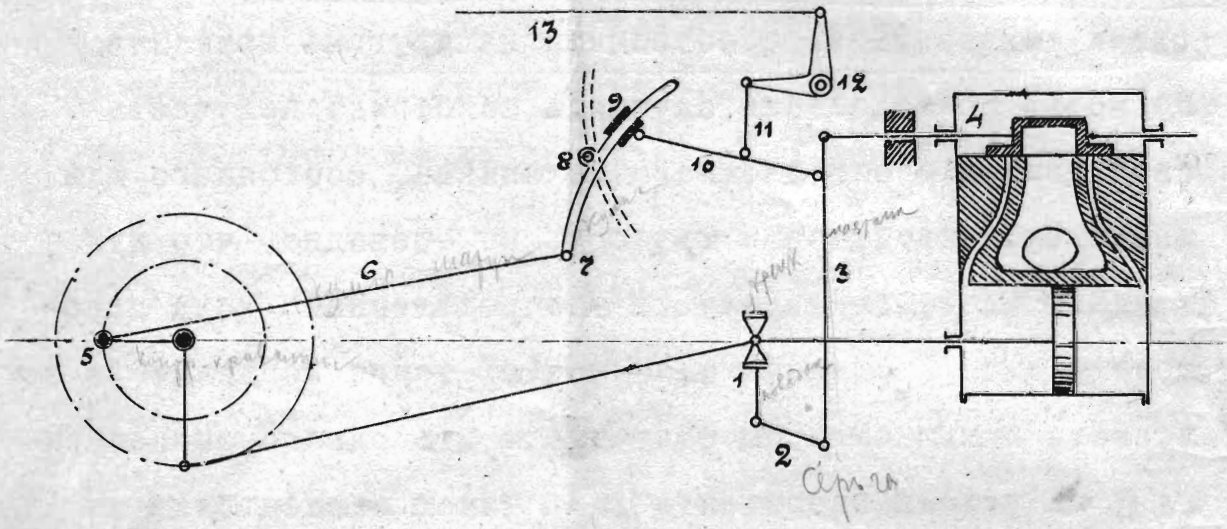
Во всѣхъ приведеннихъ случаяхъ золотникъ получаетъ свое движеніе отъ сложнаго механизма, состоящаго изъ двухъ эксцентриковъ и кулиссы, но очевидно, что для каждаго частнаго случая (т.е.опредѣленнаго хода паровоза и данной степени наполненія) такое же движеніе золотника можно было бы получить и отъ одного эксцентрика R съ угломъ опереженія Δ. Такой эксцентрикъ мы называемъ равнодѣйствующимъ. Съ другой стороны очевидно, что такой эксцентриситетъ мы можемъ разложить на два (фиг.25): А съ угломъ опереженія $\delta_1 = 90°$ и В съ угломъ опереженія $\delta_2 = 0$. Для различныхъ наполненій R различно. Измѣненіе его можно подобрать такъ, что



фиг.25.

разлагая новое R_1 по тому же способу мы получимъ ту же величину А составляющаго эксцентриситета и измѣнятся только эксцентриситетъ В. Благодаря постоянству А соотвѣтствующее ему движеніе можетъ получаться не отъ особаго эксцентрика, а отъ какой либо части машины (крейцкопфа, шату-

на и т.д.). Этотъ именно принципъ и положенъ въ основу устройства современныхъ кулиссныхъ механизмовъ, среди которыхъ первое мѣсто безспорно занимаетъ механизмъ Гейзингеръ фонъ Вальдеггъ (фиг.26), широко принятый и у насъ въ Россіи. Золотниковый штокъ 4 получаетъ сложное движеніе I) отъ механизма маятника 3 связаннаго



фиг.26.

серьгою 2 и поводкомъ I съ крейцкопфомъ машины (составляющій эксцентриситетъ A) и 2) отъ колебаній кулиссы 7 помощью кулисснаго шатуна 6 и контркривошипа (или эксцентрика) 5; колебанія кулиссы происходятъ около вала 8, подшипники коего лежатъ на рамахъ паровоза. Золотниковый шатунъ I0 сочлененъ съ маятникомъ 3; передвиженіе кулисснаго камня 9 въ кулиссѣ 7 совершается помощью обычнаго подвѣшиванія при посредствѣ тяги II къ плечу переводного рычага, сидящаго на валѣ I2, причемъ тяга I3 изъ будки машиниста дѣйствуетъ на другое плечо рычага. Контръ-кривошипъ насаженъ на 90 впереди кривошипа (т.е уголъ опереженія его равенъ 0) Этотъ

механизмъ выполняетъ перемѣщенія золотника какъ отъ перемѣннаго эксцентриситета В, причемъ В тѣмъ больше, чѣмъ дальше кулиссный камень будетъ удаленъ отъ центра качанія кулиссы 8. Механизмъ Гейзингера отличается хорошею точностью парораспредѣленія, малой работой тренія, нечувствительностью къ игрѣ рессоръ и помѣщается снаружи рамъ паровоза, что облегчаетъ уходъ и ремонтъ.*)

§ II. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія машины и паровоза.

Тепловое полезное дѣйствіе машины паровоза опредѣляется формулой

$$\eta_m = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1}$$

гдѣ λ_1 теплота 1 kg. рабочаго пара при впускѣ,

λ_2 теплота 1 kg. уходящаго пара.

Полагая въ среднемъ давленіе пара $p = 12$ atm. abs., находимъ въ таблицахъ водяного пара $\lambda_1 = 668$ е.т., $\lambda_2 = 641$ е.тепла (при $p = 1{,}1$ atm.) и $\eta_m = 0{,}045$, т.е. только 4,5% теплоты содержащейся въ парѣ можетъ обратится въ цилиндрѣ машины въ механическую работу. Если же принять во вниманіе работу тренія, т.е. ввести η_m -коэффиціентъ мех. полезнаго дѣйствія (равный въ среднемъ 0,85 и максимумъ 0,90), то $\eta = 0{,}045 \cdot 0{,}90 = 0{,}04$.

*) Желающихъ ближе ознакомится съ теоріей кулиссныхъ механизмовъ отсылаю къ прекрасному труду проф. К.А.Владимірова. Золотниковое парораспредѣленіе. Рига. 1906г.

Имѣя въ виду, что котелъ паровоза обладаетъ коэффиціен томъ полезнаго дѣйствія въ среднемъ $\eta_к \cong 0,7$, то общій коэффиціентъ полезнаго дѣйствія паровоза $\eta_п = \eta \cdot \eta_к = 0,028$ т е только 2,8% тепла, содержащагося въ топливѣ переходитъ въ полезную механическую работу измѣренную на ободѣ движущихъ колесъ. Переходя же къ упряжному крюку тендера мы должны уменьшить полученную работу на величину работы, потребной на собственное перемѣщеніе паровоза, т е взять только $\eta_2 = \eta_п \cdot \eta_1$, гдѣ η_1 есть коэффиціентъ полезнаго дѣйствія паровоза, какъ повозки Полагая его равнымъ 0,8 получимъ утилизацію теплоты $\eta_2 = 0,8 \cdot 0,028 = 0,0224$. Такой самъ по себѣ печальный результатъ утилизаціи топлива ухудшается еще вслѣдствіе ряда потерь при работѣ машины

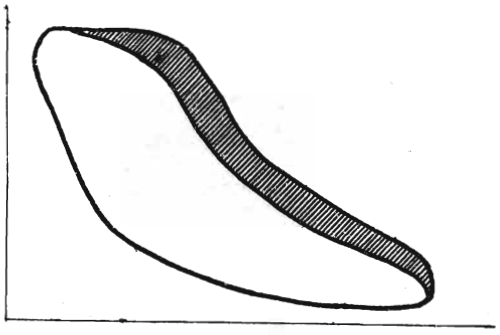
§ 12. Потеря въ машинѣ. Улучшеніе паровозовъ: принципъ компаундъ и перегрѣвъ пара.

а) Просачиваніе пара сквозь неплотности въ золотникѣ, поршневыхъ кольцахъ, сальникахъ и фланцахъ. Паръ не совершая работы уходитъ въ атмосферу. Потери эти вслѣдствіе небрежнаго ухода могутъ быть очень велики, но легко устранимы.

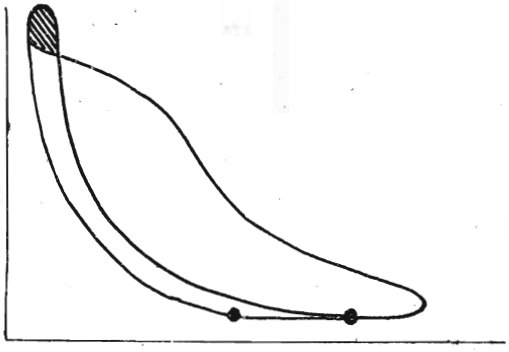
в) Лучеиспусканіемъ теряется теплота какъ котломъ, такъ и паровыми цилиндрами машины и паропроводами. Потеря эта можетъ быть уменьшена хорошей обшивкой перечисленныхъ частей паровоза.

с) Потери въ діаграммѣ работы вслѣдствіе увеличенія ско-

рости движенія. При слишкомъ большой скорости движенія, а слѣдовательно и скорости поршня въ періодъ наполненія паръ начинаетъ уже расширяться, вслѣдствіе чего прямая впуска въ діаграммѣ(фиг. 27) проходитъ не параллельно оси объемовъ, а наклонена къ ней. Результатъ - потеря работы (заштриховано на діаграммѣ 27). Такъ какъ большой скорости движенія соотвѣтствуетъ малое наполненіе (движеніе по прямымъ и уклонамъ), а начало сжатія происходитъ при распредѣленіи простымъ золотникомъ тѣмъ раньше, чѣмъ меньше наполненіе, то при удлиненіи періода сжатія въ діаграммѣ могутъ получаться площадки отрицательной работы, заштрихованныя на фиг. 28.



фиг. 27.



фиг. 28.

d) Потеря на начальную конденсацію. Паръ, поступая изъ золотниковой коробки въ паровой пролетъ, вступаетъ въ полость охлажденную во время предшествовавшаго періода выпуска (до t° около 110°). Результатомъ этого является конденсація пара въ воду до тѣхъ поръ пока стѣнки вновь не нагрѣются. Во время періода выпуска сконденсированная вода испаряется и улетучивается черезъ выпуск-

ное окно въ атмосферу не производя работы. Изслѣдованія показали пропорціональность конденсаціонной потери квадрату разности температуръ T-t пара при впускѣ и выпускѣ. Вообще же эта потеря очень значительна, достигая 20-30 и даже до 50% всего количества расходуемаго пара.

Главнними мѣрами къ уменьшенію этой потери пара служатъ

а) Принципъ двукратнаго расширенія (паровозы "компаундъ"). Паръ заставляютъ расширяться послѣдовательно въ двухъ цилиндрахъ, такъ что паденіе температуръ дѣлится поровну между цилиндрами причемъ очевидно, что $(T-t_1)^2+(t_1-t)^2<(T-t)^2$, а слѣдовательно меньше и потеря пара на конденсацію. Кромѣ того становится меньше и потеря на просачиваніе, т.к. паръ просочившійся изъ цилиндра высокаго давленія работаетъ въ цилиндрѣ низкаго давленія. Удачной конструкціей паровозовъ компаундъ можно получить 10-15% сбереженія топлива по сравненію съ паровозами простого расширенія. Принципъ "компаундъ" введенъ въ жизнь въ 1874 г. Анатолемъ Малэ во Франціи и одновременно фонъ - Боррисомъ въ Германіи. Недостаткомъ паровозовъ компаундъ является тотъ, что если кривошипъ малого цилиндра (внс. давл.) остановится въ мертвой точкѣ, то паръ не можетъ поступить въ большой цилиндръ (низк. давл.), т.е. будетъ невозможно троганіе съ мѣста. Для устраненія этого помощью особаго прибора троганія съ мѣста пускаютъ при троганіи свѣжій паръ непосредственно въ промежуточный паропроводъ

(рессиверъ). Иногда эти приборы бываютъ такъ устроены, что одновременно съ впускомъ свѣжаго пара въ рессиверъ сообщаетъ выпускъ малаго цилиндра съ конусомъ, что даетъ возможность машинисту на тяжелыхъ подъемахъ, гдѣ требуется не экономія въ парѣ, а наибольшая возможная величина силы тяги, переходить на работу простымъ расширеніемъ. Къ такому типу относятся приборы трогания Малле и Дульца, имѣющіе большое распространеніе и у насъ въ Россіи. Въ настоящее время полезность принципа компаундъ является твердо установленной и потому громадное большинство паровозовъ строятся по системѣ компаундъ. Часто строятъ 4-хъ цилиндровые паровозы съ двумя двухцилиндровыми машинами компаундъ; въ нихъ трогание съ мѣста обезпечено лучше и можно обходится и безъ прибора трогания.

ь) Перегрѣвъ пара. Того же и даже лучшаго результата можно достигнуть перегрѣвая рабочій паръ до высокой температуры, на что затрачивается лишь небольшое количество теплоты, равное въ среднемъ 0,5 (T_1-T) ед.т. на I *kg.* пара, гдѣ T_1 температура перегрѣтаго пара, T-насыщеннаго, а 0,5 - величина средней теплоемкости пара при постоянномъ давленіи. Перегрѣтый паръ, входя въ охлажденную за время выпуска полость цилиндра, теряетъ перегрѣвъ, но не конденсируется; послѣднее явленіе наступаетъ не раньше, чѣмъ паръ сдѣлается насыщеннымъ. При T_1 = 330-350° C явленіе конденсаціи поэтому не наступаетъ совершенно и этимъ путемъ можно получить въ

среднемъ до 20-30% экономіи въ расходѣ воды (очень важно для безводныхъ мѣстностей) и до 15-20% въ расходѣ топлива. Машина, работающая перегрѣтымъ паромъ сложнѣе и обходится дороже на 3000 руб. включая стоимость перегрѣвателя (Въ среднемъ), дороже обходится также и смазка. Увеличиваются потери на просачиваніе вслѣдствіе большей текучести перегрѣтаго пара. Перегрѣвъ пара изобрѣтенъ извѣстнымъ ученымъ Гирномъ въ 50-хъ годахъ прошлаго вѣка, на паровозахъ введенъ Вильгельмомъ Шмидтомъ въ 90-хъ годахъ.

Въ послѣднемъ типѣ перегрѣвателя Шмидта, который получилъ уже громадное распространеніе, перегрѣвъ пара производится въ серіи трубокъ малаго діаметра (30-36%. вложенныхъ элементами (по 4 трубки каждый) въ дымогарныя трубы котла, который имѣетъ 18-28 такихъ трубъ (діаметромъ 125 m/m въ свѣту). Трубки перегрѣвателя не доходятъ до топки миллиметровъ на 600-700.x)

Перегрѣтый паръ не только устраняетъ конденсаціонныя потери въ цилиндрѣ, но и значительно повышаетъ полезное дѣйствіе машины Такъ при перегрѣвѣ пара 12 atm. abs. до 400° C (предѣлъ при нынѣшнихъ условіяхъ работы) коэффиціентъ теплового дѣйствія машины съ 0,045 повышается до $\eta_m = \frac{\lambda_1 - \lambda_2}{\lambda_1} = \frac{775-641}{775} = 0,175$ т.е.

---

x)Кромѣ перегрѣвателей Шмидта въ Россіи примѣняются еще перегрѣв.Ноткина, кромѣ того въ небольшомъ количествѣ перегр Формаковскаго, Неймайера и др.(въ стадіи опытовъ).

утилизируется уже не 4,5% теплоты пара, а 17,3%. Этимъ объясняется не только выигрышъ въ топливѣ и водѣ, но и возможность получить при маломъ вѣсѣ мощный паровозъ*) Дальнѣйшее улучшеніе паровоза съ перегрѣвомъ пара заключается въ одновременномъ примѣненіи принципа компаундъ, введеніе котораго уменьшаетъ остываніе пара и значительно уменьшаетъ безполезную утечку пара, которая является бичомъ паровозовъ съ перегрѣвателями и можетъ совершенно парализовать его выгоды, что и наблюдалось на многихъ ж.д.

§ 18. Индикаторная и полезная мощность паровоза и ея регулированіе (управленіе паровозомъ).

Мощностью мы называемъ число лошадиныхъ силъ механической работы совершаемое въ 1 секунду. Если поэтому назовемъ:

d - діаметръ цилиндра (число ихъ беремъ 2) въ см.

h - ходъ поршня въ метр.

p - среднее индикаторное давленіе пара въ атм.

D - діаметръ движущихъ колесъ въ метр. и

V - скорость движенія въ Km/h, то индикаторная (на поршнѣ) мощность паровоза съ двумя цилиндрами будетъ очевидно

$$N_i = 2\frac{\pi d^2}{4} p_i \cdot 2h \frac{V \cdot 1000}{3600 \pi D} \cdot \frac{1}{75} = p_i \frac{d^2}{D} \cdot h \frac{V}{270}$$

*)Си В.В.Фрмаковскій. Перегрѣтый паръ въ паровозахъ большой мощности. 1911.

Среднее индикаторное давленіе p_i можетъ быть для каждаго отдѣльнаго режима работы (открытіе регулятора, степень наполненія) представлено въ видѣ $p_i = \alpha_1 p_к$, гдѣ $p_к$ давленіе въ котлѣ, т.е. $N_i = \alpha_1 \cdot p_к \frac{d^2}{D} \cdot h \cdot \frac{V}{270}$

Полезная мощность на ободѣ движущаго колеса найдется, если мы умножимъ N_i на коэффиціентъ $\eta_м$ механическаго полезнаго дѣйствія, т.е.

$$N_e = \eta_м N_i = \alpha_1 \eta_м p_к \frac{d^2}{D} h \frac{V}{270} = \alpha p_к \frac{d^2}{D} h \frac{V}{270}, \text{ гдѣ } \alpha = \alpha_1 \eta_м.$$

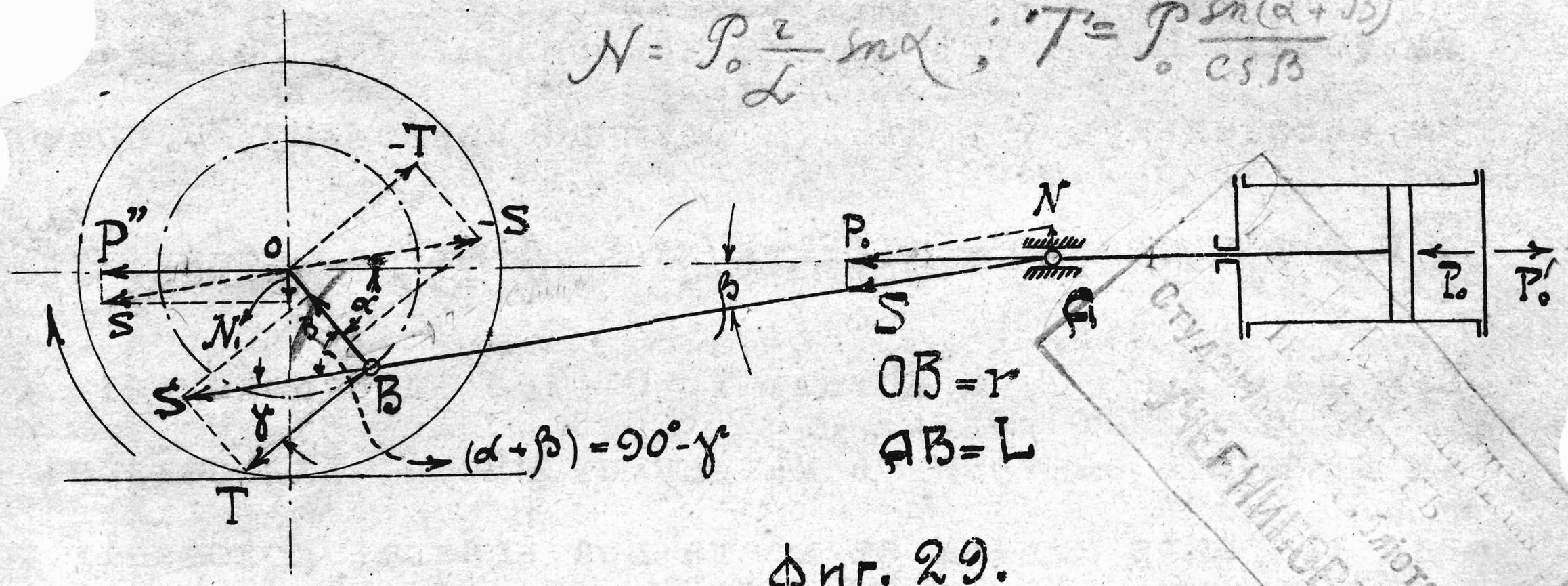
Очевидно, что регулировать работу паровоза можно, измѣняя коэффиціентъ α, но такъ какъ $\eta_м \cong 0{,}85$ остается почти постояннымъ, то это равносильно измѣн коэфф. α_1 связывающаго p_i и $p_к$ въ равенствѣ $p_i = \alpha_1 p_к$. Измѣненіе α_1, т.е. величины средняго индикаторнаго давленія, можетъ быть очевидно достигнуто двумя способами:

а) измѣненіемъ давленія пара при впускѣ, что достигается измѣненіемъ открытія регулятора.

в) Измѣненіемъ степени наполненія цилиндровъ, что достигается перестановкою кулисснаго механизма в соотвѣтствующее положеніе. Болѣе выгоднымъ въ смыслѣ расхода пара является второй способъ регулированія, но при уменьшеніи степени наполненія ниже 30-25% хода поршня уменьшенія расхода пара уже не происходитъ, поэтому тогда цѣлесообразно дѣйствовать и регуляторомъ, уменьшая его открытіе.

§ I4. О силахъ дѣйствующихъ въ машинѣ паровоза. Вращающее усилiе.

$$N = P_0 \frac{r}{L} \sin\alpha \; ; \; T = P_0 \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta}$$



фиг. 29.

Предположимъ, что на поршень машины имѣется давленiе пара P_0 . Дляпростоты вывода пренебрегаемъ тѣмъ, что часть силы P_0 идетъ на ускоренiе массъ движущихся частей машины. Равное же, но прямо противоположное давленiе P_0' испытываетъ крышка цилиндра и передаетъ его рамѣ паровоза. Усилiе P_0 по штоку передается въ крейцкопфный шарниръ А и здѣсь разлагается на S въ направленiи ведущаго шатуна и N перпендикулярно къ направляющимъ крейцкопфа (параллелямъ). Послѣднее будетъ равно

$N = P_0 \cdot tg\beta$. $tg\beta$ по малости угловъ β можетъ быть замѣненъ $\sin\beta$, а $\sin\beta$ опредѣляется изъ $\triangle$ АОВ по отношенiю:

$$\frac{\sin\beta}{\sin\alpha} = \frac{r}{L}$$

гдѣ r - длина кривошипа

L - " шатуна, а

α - уголъ поворота кривошипа изъ мертваго положенiя.

поэтому окончательно $N = P_0 \frac{r}{L} \sin\alpha$

Сила S, дѣйствующая по шатуну равна $S = \frac{P_0}{\cos\beta}$

Въ точкѣ В (центрѣ пальца кривошипа) она разлагается на касательную Т и дѣйствующую по кривошипу К, причемъ $T = S\cos\gamma$. Но $\cos\gamma = \sin(90-\gamma) = \sin(\alpha+\beta)$, а потому $T = \frac{P_0 \sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta}$

При $\alpha = 0$ и $\beta = 0$, а потому $T = 0$ Т е при положеніи $\alpha = 0$ мы не могли бы тронуть машину съ мѣста. Для обезпеченія трогантя машины съ мѣста при всякомъ положеніи кривошипа, необходимо устроить второй цилиндръ, кривошипъ коего заклинить подъ угломъ (всегда почти 90°) къ первому. При углѣ заклиненія 90° получимъ тогда для второй машины

$\alpha_1 = \alpha + \frac{\pi}{2}$, $\sin\beta_1 = \frac{r}{L}\cos\alpha$, а общее касательное усиліе будетъ $\Sigma T = \left[\pm P_0 \frac{\sin(\alpha+\beta)}{\cos\beta} \pm P_0' \frac{\sin(\alpha_1+\beta_1)}{\cos\beta_1}\right]$,

что никогда не даетъ $\Sigma T = 0$. Знаки + относится да угловъ α въ предѣлахъ отъ 0 до π, минусы отъ $\pi - 2\pi$, считая отъ мертвой точки, ближайшей къ цилиндру Приложимъ теперь къ центру вала 0 двѣ силы равныхъ, прямопротивоположныхъ и параллельныхъ силѣ S., причемъ отъ этого равновѣсіе системы очевидно не нарушится. Силу S разлагаемъ на горизонтальную P_0'', очевидно равную $P_0' = P_0$ и перпендикулярную ей K_1, равную очевидно N. Силу же S разлагаемъ на силу параллельную и равную по величинѣ Т и силу направленную вдоль кривошипа -К Тогда мы получимъ слѣдующій комплектъ силъ.

Силы P_0' и P_0'' уничтожаются сопротивленіемъ рамы, которую они растягиваютъ,

Силы K и $-K'$ сжимаютъ кривошипъ и уничтожаются.

Силы N и N_1 даютъ пару силъ съ плечомъ OA.

Такъ какъ N при переднемъ ходѣ паровоза всегда направлено вверхъ (а при заднемъ внизъ), то пара эта стремится приподнимать передъ паровоза, внизвая его нирянie.

Сила N_1 увеличиваетъ крокѣ того давленіе колеса на рельсъ.

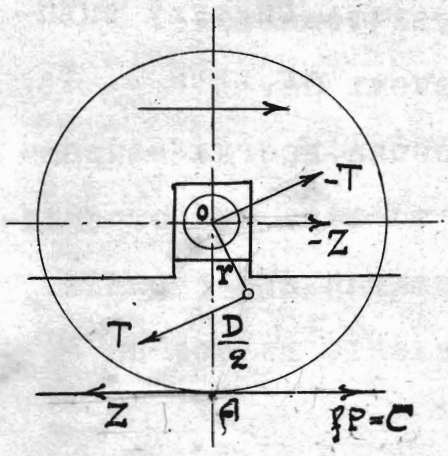
Силы T и -T съ плечомъ r даютъ пару силъ Tr, вращающую колесо.

По законамъ механики система силъ, приводящаяся только къ парѣ силъ не можетъ служить причиной поступательнаго движенія тѣла. Очевидно, что и въ паровозѣ это условіе имѣется на лицо. Такой внѣшней силой, вызывающей поступательное движеніе паровоза, является сила сцѣпленія колеса съ рельсомъ.

§ 15. Сила сцѣпленія. Условіе для поступательнаго движенія. Опредѣленіе силы тяги.

Сила сцѣпленія колеса съ рельсомъ (сила тренія колеса о рельсъ) какъ показываютъ непосредственные опыты зависитъ отъ давленія колеса на рельсъ, т.е. $C = fP$, гдѣ f есть коэффиціентъ сцѣпленія, зависящій отъ состоянія трущихся поверхностей. Нашу вращающую колесо пару Tr мы можемъ замѣнить (фиг. 30) равнодѣйствующей парой $Z\frac{D}{2}$, т.е. $Tr = Z\frac{D}{2}$ гдѣ Z дѣйствуетъ на окружности обода

колеса. Если у насъ имѣется еще сила сцѣпленія $fP = C$, то сила Z и C уничтожаются и у насъ остается сила $-Z$ съ плечомъ $\frac{D}{2}$, заставляющая колесо поворачиваться около мгновеннаго центра А, результатомъ чего будетъ увлеченіе осью О черезъ посредство буксы рамъ паровоза въ направленіи стрѣлки, т.е. поступательное движеніе паровоза. Очевидно, что оно возможно будетъ лишь до тѣхъ поръ пока $Z \leq C$, т.е. пока вращающее усиліе меньше силы сцѣпленія колеса съ рельсомъ. Силу Z мы называемъ силою тяги. Очевидно, что сила тяги есть часть силы сцѣпленія колеса съ рельсомъ, равная по величинѣ вращающему усилію, получаемому отъ давленія пара на поршень машины и отнесенному къ окружности катанія.

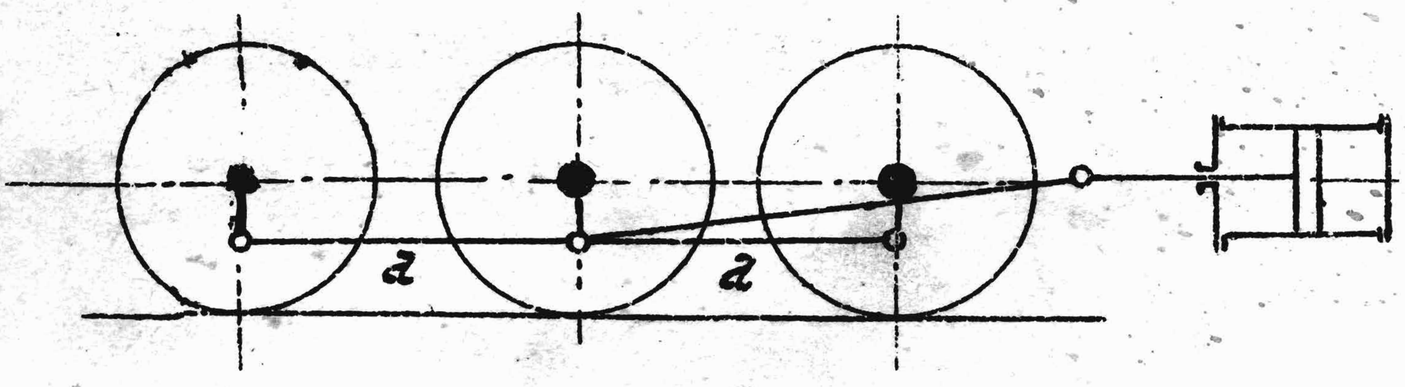


фиг. 30

Если условіе сцѣпленія будетъ нарушено т.е. Z будетъ $> C$, то (сцѣпленіе будетъ нарушено) система силъ у насъ опять приведется къ одной парѣ силъ, а потому мы не получимъ поступательнаго движенія паровоза: колеса будутъ вращаться на мѣстѣ - "боксовать". Явленіе это можно наблюдать часто на вокзалахъ при троганіи съ мѣста тяжелыхъ поѣздовъ (Z велико), а также на тяжелыхъ подъемахъ въ дождливую погоду (f мало).

Когда Z (сила тяги) паровоза велика, то очевидно, что силы сцѣпленія колесъ одной оси съ рельсами будетъ недостаточно для поступательнаго движенія паровоза

Необходимо тогда у нѣсколькихъ осей сдѣлать равнаго діаметра колеса и соединить ихъ (фиг. 31) въ одну кинематическую систему сцѣпными шатунами а. Такія оси называются сцѣпными или спаренными. Сила сцѣпленія паровоза будетъ тогда $\Sigma C = f L_1$, суммѣ силъ сцѣпленія отдѣльныхъ осей. Условіе же поступательнаго движенія выразится равенствомъ



фиг. 31.

$Z \leqslant f L_1$, гдѣ L_1 сцѣпной вѣсъ паровоза или сумма давленій отъ сцѣпныхъ колесъ на рельсы. Очевидно, что при большомъ Z (товарные паровозы) число сцѣпныхъ колесъ должно быть велико (4 и болѣе), при маломъ Z (пасс. и особенно курьерскіе паровозы) мало (2·3).

§ 16. Средняя за I оборотъ сила тяги.

Цилиндровая наибольшая сила тяги паровоза.

Если за I оборотъ движущаго колеса приравнять работу пара на двухъ поршняхъ машины съ работой средней величины силы тяги Z , то получимъ равенство $2 \alpha_1 p_k \frac{\pi d^2}{4} \cdot 2 h = Z \pi D$

или

$$Z = \alpha_1 p_k \frac{d^2}{D} \cdot h \qquad \text{(индикаторная сила тяги)}$$

Если теперь ввести коэффиціентъ механическаго полезнаго дѣйствія машины $\eta_м$. то получимъ величину средней за I оборотъ полезной силы тяги (на ободѣ движ. колеса)

$$Z_к = \eta_м \alpha_1 p_к \frac{d^2}{D} h = \alpha p_к \frac{d^2}{D} h .$$

Если принять во вниманіе наибольшее наполненіе (50-60%) съ которымъ паровозъ можетъ работать болѣе или менѣе продолжительное время, то α можно принять равнымъ для паровозовъ простого дѣйствія:

$\alpha = 0,5$ для пассажирскихъ паровозовъ } съ насыщен-
$\alpha = 0,6$ для товарныхъ - " - } нымъ паромъ

$\alpha = 0,75$ для паровозовъ съ перегрѣвомъ пара (вслѣдствіе увеличенія удѣльнаго объема пара, т.е. большаго наполненія при томъ же вѣсовомъ расходѣ пара).

Подставивъ эти числа, мы получимъ наибольшую среднюю силу тяги, которую паровозъ можетъ развивать по размѣру своихъ цилиндровъ. Поэтому это выраженіе носитъ названіе цилиндровой силы тяги.

При уменьшеніи степени наполненія или открытія регулятора будетъ очевидно уменьшаться α_1, а вмѣстѣ съ нимъ и α, а развиваемая сила тяги падать

§ 17. Зависимость силы тяги отъ скорости движенія паровоза. Котловая (паровая) сила тяги.

Въ параграфѣ 3 этой главы выведено выраженіе для полезной мощности паровоза

$$N_e = \boxed{\alpha p_к \frac{d^2}{D} h} \frac{V}{270}$$

Очевидно, что множитель, обведенный чертой, представляетъ собой не что иное, какъ $Z_к$, а потому

$$Z_к = \frac{270 N_e}{V}$$

Т.е. сила тяги зависитъ отъ полезной мощности и скорости движенія. Съ повышеніемъ скорости движенія N_e возрастаетъ, а потому смыслъ написанной формулы не достаточно ясенъ. Для приведенія формулы къ другому виду умножимъ и раздѣлимъ числителя на H_k - величину поверхности нагрѣва. Тогда

$$Z_k = \frac{270\, H \frac{N_e}{H_k}}{V}$$

Вмѣсто значка $_k$ при Z ставимъ $_{''к''}$, такъ какъ формула даетъ связь съ размѣрами котла (Н). Величина $\frac{N_e}{H_k}$ называется удѣльной мощностью котла и на основаніи опытовъ Франка для паровозовъ можетъ быть выражена опытной формулой вида

$$\frac{N_e}{H} = a\sqrt{V}\frac{\pi}{k}$$

Подставляя это значеніе, получимъ:

$$Z_k = \frac{270\, H\, a\sqrt{V}}{V} = \frac{270\, a\, H}{\sqrt{V}}$$

т.е. съ развитіемъ скорости V сила тяги паровоза уменьшается. Причиной этого явленія является то обстоятельство, что съ наступленіемъ извѣстной скорости движенія котелъ не можетъ уже доставлять достаточнаго для большого наполненія количества пара. Въ силу этого мы должны уменьшать степень наполненія, результатомъ чего является уменьшеніе силы тяги вслѣдствіе уменьшенія коэффиціента α_1. Выраженіе

$$Z_k = \frac{270\, H \frac{N_e}{H}}{V}$$

называется котловой силой тяги. Ниже мы приводимъ фор-

мулы, выражающія $\frac{N_e}{H}$

Формулы Франка:

для пассаж.: $\frac{N_e}{H} = 0{,}617\sqrt{V}$

для товарныхъ: „ $= 0{,}6 + 0{,}527\sqrt{V}$

Формула Рихтера:

$$\frac{N_e}{H} = 0{,}775(a - 0{,}6u)\sqrt{u}$$

u -число оборотовъ движущихъ колесъ въ секунду.

a =6,0 паровозы съ двумя цилиндрами простого расширенія съ насыщеннымъ паромъ,

a = 6,5 компаундъ съ двумя цилиндрами,

a = 7,0 прост.расш.съ 2 цил. и перегрѣвомъ пара

a = 7,5 четырех-цилиндр. компаундъ

a = 8,0 то же съ перегрѣвомъ пара.

Приведенныя формулы даютъ максимальное возможное значеніе $\frac{N_e}{H}$, при расчетахъ же слѣдуетъ брать цифры на 10-15% меньшія. Подробности о типахъ паровозовъ и расчетѣ ихъ по заданнымъ условіямъ см: В.Формаковскій. Общій разсчетъ паровоза и тендера. Кіевъ 1912 г. Изданіе механическаго кружка. Ц.1рубль 50 коп.

Глава III. СИЛЫ ЭНЕРЦІИ ДВИЖУЩИХСЯ ЧАСТЕЙ ПАРОВОЗНОЙ МАШИНЫ.

Не останавливаясь пока на результатахъ дѣйствія силъ инерціи вращающихся и возвратно - движущихся частей машины (виляніе, подергиваніе, вліяніе на реакцію рельса и т.д.), опредѣлимъ эти силы инерціи. Общимъ методомъ имъ нахожденія будетъ послѣдовательное опредѣленіе пу-

ти, скорости и ускоренія соотвѣтственныхъ частей, а сила инерціи найдется, умножая массу данной части на ускореніе и беря обратный ускоренію знакъ.

Всѣ движущ. части машины паровоза могутъ быть отнесены къ 3 главнымъ группамъ:

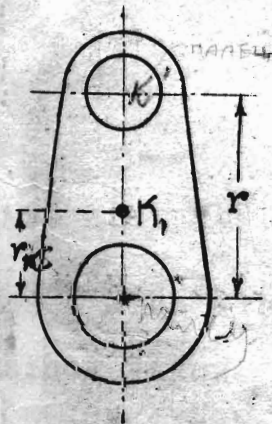
а) массы вращающіяся, центръ тяжести которыхъ не совпадаетъ съ центромъ вращенія (кривошипы и ихъ пальцы, сцѣпные шатуны).

в) массы возвратно - движущіеся (поршни со штоками и крейцкопфами; золотники и пр. части).

с) массы имѣющія сложное отчасти вращательное, отчасти возвратное движеніе (ведущіе шатуны, кулиссные шатуны, эксц.тяги и т.д.).

Мы будемъ разсматривать лишь массы частей самой машины, пренебрегая частями пароораспредѣленія, какъ имѣющими сравнительно малый вѣсъ и малыя перемѣщенія.

§ 18. Силы инерціи вращающихся массъ центръ тяжести которыхъ не совпадаетъ съ центромъ вращенія.



фиг. 32.

Сюда отнесятся считая на I кривошипъ:

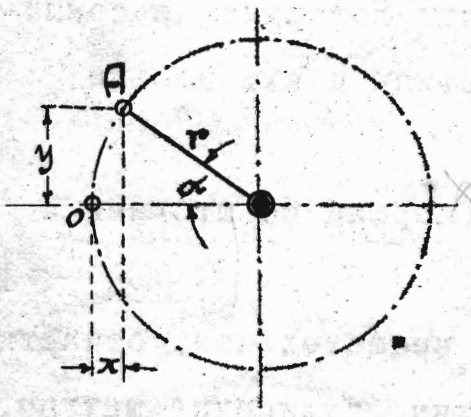
а) ½ вѣса сцѣпныхъ шатуновъ примыкающихъ къ данному кривошипу = ½ Q_1;

в) Вѣсъ кривошипа, приведенный къ центру пальца кривошипа по равенству (фиг. 32). $K'r = K_1 r_k$ $K' = K_1 \frac{r_k}{r}$

с) Вѣсъ пальца кривошипа n. Сумму $n + K'$ назовемъ Q_1, т.е. будемъ считать въ центрѣ паль-

ца кривошипа сосредоточенной массу $\frac{1}{g}(Q_1+\frac{1}{2}Q_2)=M_б$. Эта масса описываетъ путь въ видѣ дуги круга, радіуса равнаго длинѣ кривошипа. Поэтому проекціи пути точки А будутъ при углѣ поворота кривошипа $=\alpha$, полагая начало координатъ въ мертвой точкѣ О машины (фиг.33) равны

$$y = r.\sin\alpha$$
$$x = r(1-\cos\alpha).$$



фиг. 33.

Проекціи скоростей на тѣ же оси найдемъ беря первую производную отъ путей x и y по времени t (скорость есть производная пути по времени), поэтому составляющія (вертикальная y' и горизонтальная x') скорости равны:

$$\frac{dy}{dt} = r\cos\alpha\cdot\frac{d\alpha}{dt}$$
$$\frac{dx}{dt} = r\sin\alpha\cdot\frac{d\alpha}{dt}$$

Но $\frac{d\alpha}{dt}$ (производная угла по времени) $=\omega$ угловой скорости вращенія, которую полагаемъ постоянной,*) а потому

$$y' = \frac{dy}{dt} = r.\omega.\cos\alpha$$
$$x' = \frac{dx}{dt} = r.\omega.\sin\alpha$$

---

*) Постоянство угловой скорости ω можетъ быть принято ввиду того, что масса паровоза служитъ вполнѣ достаточнымъ регуляторомъ угловой скорости за I оборотъ колеса выполняя такимъ образомъ функціи маховъ въ поршн. машинѣ.

Составляющія ускоренія найдемъ беря производныя отъ скоростей y' и x' по t (ускореніе есть производная скорости по времени)

$$y'' = \frac{d^2y}{dt^2} = -r\omega \sin\alpha \frac{d\alpha}{dt} = -r\omega^2 \sin\alpha$$

$$x'' = \frac{d^2x}{dt^2} = r\omega \cos\alpha \frac{d\alpha}{dt} = r\omega^2 \cos\alpha$$

Такъ какъ силы инерціи равны произведенію изъ массы на ускореніе съ обратнымъ знакомъ, то мы видимъ, что наши вращающіяся массы дадутъ соотвѣтствующія силы инерціи вертикальную

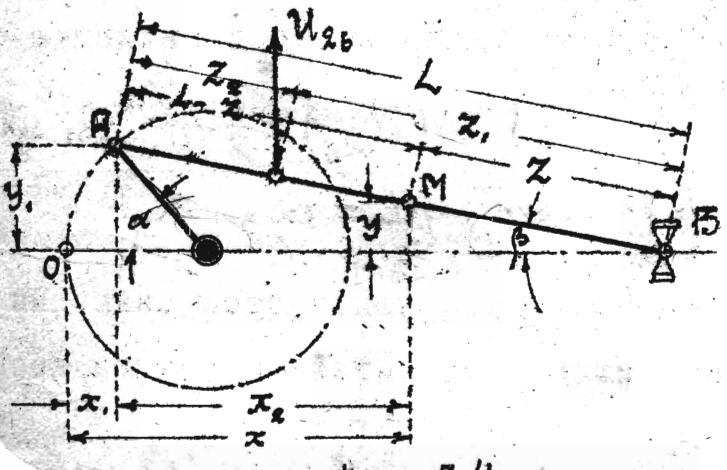
$$U_{1в} = +\frac{r\omega^2}{g}\left(Q_1 + \frac{1}{2}Q_2\right)\sin\alpha$$

и горизонтальную

$$U_{1г} = -\frac{r\omega^2}{g}\left(Q_1 + \frac{1}{2}Q_2\right)\cos\alpha \qquad \text{...(I)}$$

§ 19. Силы инерціи ведущаго шатуна.

Ведущій шатунъ имѣетъ, какъ уже было сказано, сложное движеніе: точка его A имѣетъ вращательное движеніе, а точка B возвратно-прямолинейное (фиг.34). Самъ шатунъ будемъ пока предполагать постояннаго поперечнаго сѣченія на всей длинѣ. Тогда очевидно можно принять вѣсъ единицы длины q и полный вѣсъ всего шатуна



фиг.34.

$Q_2 = qL$ гдѣ L длина шатуна.

Для рѣшенія задачи о силахъ инерціи шатуна рѣшимъ зада-

чу для произвольной точки M, принадлежащей ему и имѣющей сложное движеніе (эллиптическій путь), а затѣмъ распространимъ задачу на весь шатунъ. Сначала найдемъ вертикальное составляющее ускореніе $U_{2в}$. Полагая начало координатъ въ мертвой точкѣ O получимъ: вертикальная координата точки M есть

$$y = \frac{z}{L} y_1 = \frac{z}{L} r \cdot \sin\alpha$$

Беря производную по t находимъ:

вертикальная составляющая скорость:

$$\frac{dy}{dt} = r\frac{z}{L}\cos\alpha \frac{d\alpha}{dt} = r\omega\frac{z}{L}\cos\alpha$$

вертикальное ускореніе:

$$\frac{d^2y}{dt^2} = -r\omega^2\frac{z}{L}\cdot\sin\alpha.$$

Въ виду того, что масса элемента длины шатуна есть $\frac{q}{g}dz$ элементарная вертикальная сила инерціи:

$$d(U_{2в}) = +r\omega^2\frac{q}{g}\frac{z\,dz}{L}\sin\alpha$$

Интегрируя это выраженіе въ предѣлахъ отъ $Z=0$ до $Z=L$ находимъ равнодѣйствующую вертикальную составляющую силы инерціи шатуна

$$U_{2в} = \int_0^L d(U_{2в}) = \frac{1}{2}\frac{r\omega^2}{g}Q_3\sin\alpha,$$

ибо $\int_0^L z\,dz = \frac{1}{2}L^2$, а $qL = Q_3$

Для того, чтобы найти точку приложенія этой силы, мы возьмемъ равенство моментовъ относительно центра крейцкопфа, тогда

$$\left(\frac{1}{2}Q_3\cdot\frac{r\omega^2}{g}\cdot\sin\alpha\right)Z_1 = \frac{r\omega^2}{g}\cdot\frac{q}{L}\sin\alpha\int_0^L z^2dz,$$

гдѣ Z_1 — плечо равнод. силы инерціи относительно точки B шатуна. Изъ этого равенства находимъ:

$$Z_1 = \frac{2}{3}L.$$

Эту равнодѣйствующую вертикальныхъ силъ инерціи разложимъ на 2 составляющихъ, приложенныхъ по концамъ шатуна т.е въ точкахъ А и В. Тогда очевидно, что въ центрѣ пальца кривошипа можно считать приложенной силу

$$U_{2в} = \frac{2}{3} \cdot \frac{1}{2} \frac{r\omega^2}{g} \cdot Q_3 \sin\alpha = \frac{1}{3} \cdot \frac{r\omega^2}{g} Q_3 \sin\alpha .$$

формула эта явилась результатомъ допущенія, что шатунъ имѣетъ постоянное по всей длинѣ сѣченіе. Такъ какъ въ дѣйствительности это не такъ, а сѣченіе шатуна увеличивается по мѣрѣ приближенія къ головкѣ А, кромѣ того имѣется тяжелая головка А, то въ выведенную формулу надо ввести поправку на это обстоятельство. На основаніи опытныхъ данныхъ можно, согласно указаніямъ фонъ-Борриса принимать:

$$U_{2в} = 0,6\ Q_3 \frac{r\omega^2}{g} \sin\alpha \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (II).$$

Это значеніе ея мы и будемъ принимать въ дальнѣйшемъ разсчетѣ. Составляющая вертикальной силы инерціи, приложенная въ точкѣ В, мала по величинѣ и уничтожается сопротивленіемъ параллелей, а потому насъ сейчасъ и не интересуетъ. Она усиливаетъ только качаніе паровоза на рессорахъ. Теперь переходимъ къ опредѣленію горизонтальной силы инерціи ведущаго шатуна. Горизонтальная координата произвольной точки М ведущаго шатуна очевидно есть $x = x_1 + x_2 = r(1-\cos\alpha) + (L-Z)\cos\beta$.

Беря первую производную по t, находимъ скорость (горизон.) точки М

$$\frac{dx}{dt} = r\omega \sin\alpha + (L-Z)\frac{d(\cos\beta)}{dt}$$

Имѣя въ виду, что $\sin\beta = \frac{r}{L}\sin\alpha$, мы можемъ написать, что $\cos\beta = \sqrt{1-\sin^2\beta} = \sqrt{1-\left(\frac{r}{L}\right)^2 \sin^2\alpha}$.

Разлагая корень по биному и ограничиваясь первыми двумя членами, получимъ *)

$$\cos\beta = 1 - \frac{1}{2}\left(\frac{r}{L}\right)^2 \sin^2\alpha$$

и

$$\frac{d(\cos\beta)}{dt} = -\left(\frac{r}{L}\right)^2 \cos\alpha \cdot \sin\alpha \frac{d\alpha}{dt} = -\frac{1}{2}\left(\frac{r}{L}\right)^2 \omega \sin 2\alpha.$$

Поэтому окончательно скорость:

$$\frac{dx}{dt} = r\omega\sin\alpha - \frac{1}{2}\left(\frac{r}{L}\right)^2 (L-z)\,\omega \sin 2\alpha =$$

$$= r\omega\sin\alpha - \frac{1}{2} r\omega \frac{L-z}{L} \cdot \frac{r}{L} \sin 2\alpha.$$

Горизонтальное же ускореніе будетъ очевидно равно

$$\frac{d^2x}{dt^2} = r\omega^2\cos\alpha - \frac{L-z}{L} \cdot \frac{r}{L} \cdot r\omega^2 \cos 2\alpha =$$

$$= r\omega^2\left[\cos\alpha - \frac{L-z}{L} \cdot \frac{r}{L}\cos 2\alpha\right] \cdots\cdots\cdots (A).$$

Умножая ускореніе, взятое съ обратнымъ знакомъ, на элементарную массу шатуна (массу элемента длины) получимъ элементарную горизонтальную силу инерціи:

$$d(U_{z_2}) = -\frac{r\omega^2}{g}\left(q\,dz\cos\alpha - \frac{L-z}{L} \cdot q\,dz \cdot \frac{r}{L} \cdot \cos 2\alpha\right).$$

Интегрируя въ предѣлахъ отъ $z = 0$ до $z = L$, получимъ равнодѣйствующую горизонтальную силу инерціи шатуна, равную $U_{2_2} = -\frac{r\omega^2}{g} Q_3 \left(\cos\alpha - \frac{1}{2} \cdot \frac{r}{L}\cos 2\alpha\right) \cdots\cdots (II')$.

Далѣе слѣдовало бы опять ввести поправку на неравномѣрное сѣченіе шатуна по всей длинѣ. Эта поправка вводится сама собою, когда мы подставимъ настоящее Q_3, кото-

---

*) Если сразу пренебречь конечной длиной шатуна, то получимъ $\cos\beta = 1$, а тогда послѣдовательно получаемъ $\frac{dx}{dt} = r\omega\sin\alpha$, $\frac{d^2x}{dt^2} = -r\omega^2\cos\alpha$ и $U_{2_2} = -\frac{r\omega^2}{g} Q_3 \cos\alpha$. Это значеніе нами принимается въ дальнѣйшихъ расчетахъ.

рое конечно больше, чѣмъ въ случаѣ постояннаго сѣченія шатуна. Такое допущеніе въ связи съ принятымъ ранѣе коэффиціентомъ 0,6 для вычисленія вертикальной силы инерціи равносильно разложенію массы шатуна на массу вращающуюся, центръ тяжести которой находится въ центрѣ пальца кривошипа и которая = 0,6 Q_3 и на массу возвратно движущуюся, сосредоточенную въ крейцкопфѣ, вѣсъ которой равенъ 0,4 Q_3. Такое разложеніе близко подходитъ какъ къ дѣйствительности, такъ и болѣе точнымъ теоретическимъ вычисленіямъ.

§ 20. Силы инерціи возвратно-движущихся массъ машины.

Если въ выраженіи (А) предыдущаго параграфа положить $z = 0$, то мы получимъ ускореніе точки В шатуна, т.е. центра крейцкопфа, а именно

$$\frac{d^2x}{dt^2} = r\omega^2\left(\cos\alpha - \frac{r}{L}\cdot\cos 2\alpha\right).$$

Возвратно же движущіяся массы (вѣсъ Q_4) можно какъ разъ считать сосредоточенными въ центрѣ крейцкопфа. По этому горизонтальная сила инерціи возвратно-движущихся массъ будетъ

$$U_{3_1} = -\frac{r\omega^2}{g}Q_4\left(\cos\alpha - \frac{r}{L}\cos 2\alpha\right) \cdots\cdots (III)$$

При пренебреженіи конечной длиной шатуна получаемъ

$$U_{3_2} = -\frac{r\omega^2}{g}Q_4\cos\alpha.$$

Это значеніе принято нами далѣе.

§ 21. Равнодѣйствующія вертикальная и горизонтальная силы инерціи движущихся частей и ихъ вліяніе на движеніе паровоза.

Суммируя теперь вертикальныя и горизонтальныя силы инерціи (уравненіе I, II, и III предыдущихъ §§), получимъ очевидно ихъ равнодѣйствующія:

вертикальную:

$$U_в = \frac{r\omega^2}{g}\left(Q_1 + \frac{1}{2}Q_2 + 0{,}6\,Q_3\right)\sin\alpha$$

и горизонтальную

$$U_г = -\frac{r\omega^2}{g}\left[\left(Q_1+\frac{1}{2}Q_2\right)\cos\alpha + Q_3\left(\cos\alpha - \frac{1}{2}\cdot\frac{r}{L}\cdot\cos 2\alpha\right) + Q_4\left(\cos\alpha - \frac{r}{L}\cos 2\alpha\right)\right].$$

Если теперь для упрощенія вычисленій считать ведущій шатунъ безконечно длиннымъ, то въ предыдущемъ выраженіи пропадутъ члены, содержащіе множитель $\frac{r}{L}$, а равнодѣйствующую горизонтальныхъ (равно какъ и вертикальныхъ) намъ можно считать приложенной въ центрѣ пальца кривошипа. Тогда имѣемъ:

$$U_в = \frac{r\omega^2}{g}\left(Q_1 + \frac{1}{2}Q_2 + 0{,}6\,Q_3\right)\sin\alpha \quad \ldots\ldots (A)$$

и

$$U_г = -\frac{r\omega^2}{g}\left(Q_1 + \frac{1}{2}Q_2 + Q_3 \pm Q_4\right)\cos\alpha \quad \ldots\ldots (B)$$

Вертикальная сила инерціи производитъ очевидно періодическую перегрузку рельса и разгрузку его, причемъ максимумъ и минимумъ этой силы наступаютъ при $\sin\alpha = \pm 1$ т.е. при $\alpha = 90^\circ$ и 270°. Горизонтальныя же силы инерціи создаютъ пару силъ съ плечомъ, равнымъ разстоянію отъ вертикальной плоскости, въ которой дѣйствуютъ силы до осевой продольной плоскости паровоза. Эта пара силъ перемѣнная по величинѣ и знаку вызываетъ виляніе паровоза, результатомъ котораго являются боковые удары ко-

десь о рельсъ и боковая нагрузка рельса. Максимальнаго и минимальнаго значенія силы эти достигаютъ очевидно при $\cos\alpha = \mp 1$,т.е. при $\alpha = 180^\circ$ и $\alpha = 0^\circ$
И то и другое дѣйствіе силъ инерціи движущихся частей машины можетъ быть очень велико, а потому и опасно для рельсоваго пути.

§ 22. Задача уравновѣшенія силъ инерціи и ея рѣшеніе.

Ввиду вреднаго характера силъ инерціи ихъ слѣдуетъ уничтожить. Уничтоженіе это достигается тѣмъ, что на движущихъ колесахъ паровоза располагаютъ противовѣсъ такого вѣса и съ такимъ положеніемъ своего центра тяжести, чтобы онъ давалъ равныя и прямопротивоположенныя силы инерціи.

а) Вертикальное равновѣсіе.

Полагая, что центръ тяжести противовѣса будетъ удаленъ отъ центра вращенія на величину r (длина кривошипа), мы, чтобы уравновѣсить (т.е. уничтожить) силу вертикальную инерціи (А) въ § 21

$$U_в = \frac{r\omega^2}{g}\left(Q_1 + \frac{1}{2}Q_2 + 0{,}6\,Q_3\right)\sin\alpha$$

должны очевидно расположить прямо противоположно кривошипу противовѣсъ вѣса $q_в$, который далъ бы равную, но прямопротивоположную $U_в$ силу. Для этого очевидно необходимо сдѣлать его вѣсъ $q_в$ равнымъ

$$q_в = Q_1 + \tfrac{1}{2}Q_2 + 0{,}6\,Q_3 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (1).$$

в) Горизонтальное равновѣсіе.

Для уничтоженія же силы инерціи $U_г$ необходимо распол

жить прямопротивоположно кривошипу противовѣсъ, вѣсъ котораго Q_2 опредѣляется условіемъ (изъ равенствъ(В) § 21).

$$Q_2 = Q_1 + \frac{1}{2} Q_2 + Q_3 + Q_4 \quad \ldots\ldots\ldots\ldots (2).$$

с). Неуравновѣшенные избытки.

Если мы нанесемъ противовѣсъ вѣса Q_2 по уравненію (I), то очевидно у насъ останется избытокъ горизонтальной силы и инерціи равный $-\frac{r\omega^2}{g}(0{,}4\,Q_3 + Q_4)\cos\alpha$, который останется неуравновѣшеннымъ и будетъ вызывать вліяніе которое будетъ довольно велико, т.к. значеніе $(0{,}4\,Q_3 + Q_4)$ велико.

Если же нанести противовѣсъ Q_2, удовлетворяющій уравненію (2) горизонтальнаго равновѣсія, то тогда противовѣсъ будетъ великъ для вертикальнаго равновѣсія и его избытокъ вѣса, равный по величинѣ $(0{,}4\,Q_3 + Q_4)$ будетъ давать вертикальную силу инерціи, ничѣмъ неуравновѣшенную. Такимъ образомъ въ этомъ случаѣ вертикальная сила инерціи избытка вѣса противовѣса будетъ производить сильное дѣйствіе на путь въ смыслѣ перегрузокъ и разгрузокъ колеса (с) рельса. Такимъ образомъ ни тотъ ни другой способъ уравновѣшиванія не отвѣчаетъ требованіямъ практики, полнаго же уравновѣшиванія получить подобнымъ путемъ (т.е. вращающимся противовѣсомъ) нельзя ввиду присутствія возвратно движущихся массъ. На практикѣ принять слѣдующій способъ уравновѣшенія.

д) Частичное уравновѣшиваніе.

Выбираютъ вѣсъ противовѣса Q, пользуясь соотношеніемъ

$q > g > g_6$ а именно $g = g_6 + \alpha(g_1 - g_6)$, гдѣ

α — коэффиціентъ уравновѣшенія возвратно - движущихся массъ, выбираемый въ предѣлахъ отъ 0,15-0,60 (меньш. значенія для пассаж. паровозовъ и паровозовъ съ большой базой),

т.е. вѣсъ противовѣса, отнесенный къ окружности вращенія кривошипа r будетъ равенъ:

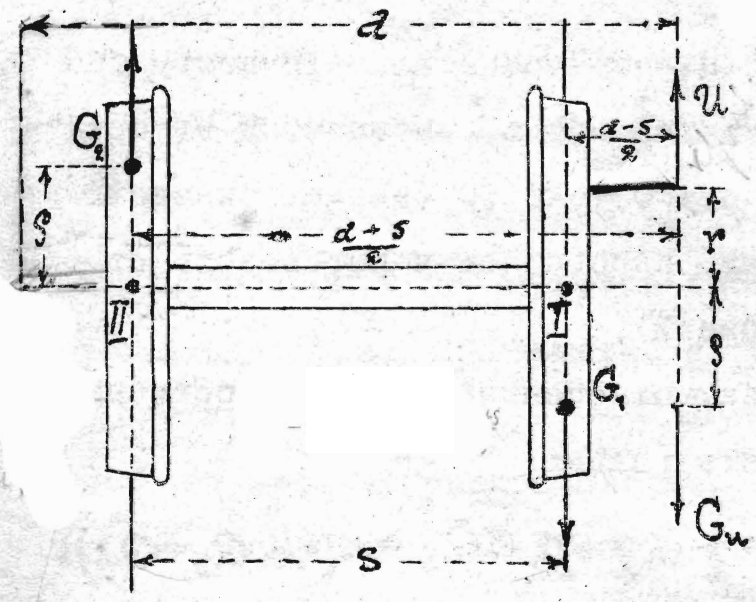
$$g = Q_1 + \frac{1}{2} Q_2 + a_1 \alpha Q_3 + \alpha(a_2 Q_3 - Q_4).$$

При этихъ условіяхъ очевидно противовѣсъ даетъ избытокъ для вертикальнаго равновѣсія равный по величинѣ $\gamma(0,4 Q_3 + Q_4)$, который даетъ вертикальную силу инерціи дѣйствующую на путь. Кромѣ того остается неуравновѣшеннымъ въ горизонтальномъ смыслѣ вѣсъ $(1-\alpha)(0,4 Q_3 + Q_4)$, который даетъ горизонт. силы инерціи, вызывающія вилянiе и подергиваніе паровоза. Однако очевидно, что и то и другое вредное вліяніе будутъ ослаблены въ значительной мѣрѣ.

§ 23. Разсчетъ дѣйствительныхъ противовѣсовъ.

Если бы противовѣсъ g_u могъ быть помѣщенъ въ той же вертикальной плоскости (фиг.35), что подлежащая уравновѣшенію сила инерціи U, то очевидно, что онъ могъ бы быть опредѣленъ по даннымъ ранѣе соображеніямъ т.е. его вѣсъ, отнесенный къ плечу r былъ бы $g_u = Q_1 + \frac{1}{2} Q_2 + 0,6 Q_3 + \alpha(a_1 Q_3 + Q_4)$.

Однако такое расположеніе физически невозможно, т.к. это препятствовало бы вращенію шатуновъ. Въ силу этого центръ тяжести противовѣса располагается въ срединѣ обода колеса, т.е. разстояніе между двухъ центровъ тяжести противовѣсовъ одного ската = ρ . Уравновѣшиваемыя же силы дѣйствуютъ въ плоскостяхъ, удаленныхъ другъ отъ друга на a. Этимъ объясняется возникновеніе вращенія ската около точки II касанія колеса съ рельсомъ въ случаѣ, если моменты силы $\mathcal{U}$ и силы инерціи противовѣса относительно оси II не уничтожаются взаимно. Для осуществленія же послѣдняго условія необходимо и достаточно, чтобы



фиг.35.

$$\frac{r\omega^2}{g} Q \cdot \frac{a+s}{2} = \rho \cdot \frac{\omega^2}{g} \cdot q_1 s,$$ откуда опредѣляется потребный вѣсъ противовѣса q_1:

$$q_1 \cdot \rho \cdot s = Q r \cdot \frac{a+s}{2},$$ гдѣ

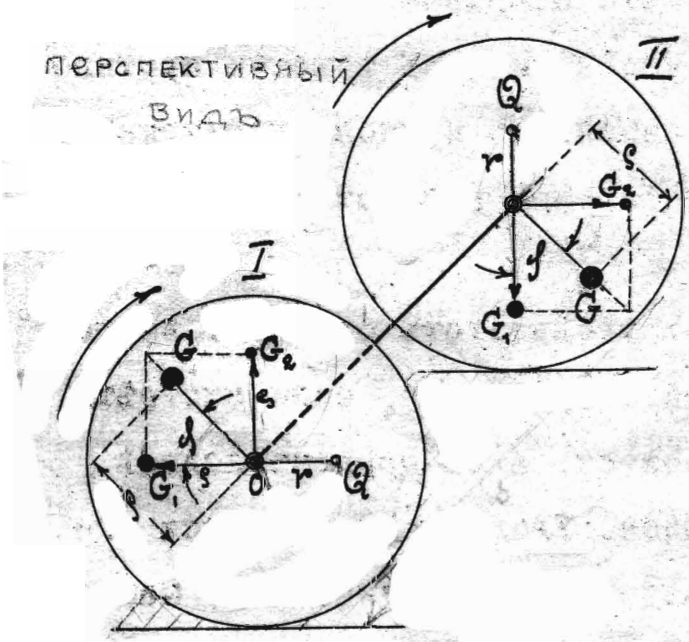
ρ -радіусъ вращенія центра тяжести противовѣса

Q -сумма всѣхъ уравновѣшиваемыхъ массъ.

a -разстояніе между равнодѣйствующими силъ уравновѣшиваемыхъ массъ

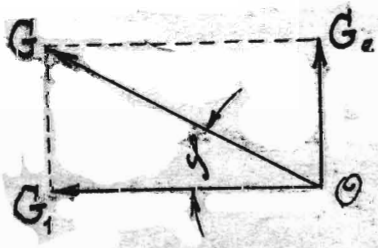
Противовѣсъ q_1 наносится прямопротивоположно Q на томъ же колесѣ, на которомъ дѣйствуетъ Q. Однако съ устройствомъ такого противовѣса q_1, нарушается равенство моментовъ дѣйствующихъ силъ относительно оси I представляющей ось, проходящую черезъ точку касанія колеса, на которомъ дѣйствуетъ уравновѣшиваемое Q, съ рельсомъ. Для уничтоженія вращенія около точки I необходимо и достаточно на другомъ колесѣ нанести противовѣсъ q_2, опредѣляемый равенствомъ $\frac{r\omega^2}{g} \cdot Q \frac{a-s}{2} = \rho \frac{\omega^2}{g} \cdot q_2 s$,

откуда $q_2 \rho \cdot s = Q r \cdot \frac{a-s}{2}$.



фиг. 36

Этотъ противовѣсъ въ случаѣ указанномъ на фиг.35 (внѣшніе цилиндры) оказывается долженъ быть нанесенъ на другомъ колесѣ въ томъ же направленіи, что и кривошипъ праваго колеса (на которомъ дѣйствуетъ сила U). Если мы прослѣдимъ уравновѣшеніе силы U, возникающей отъ вращенія Q дѣйствующей на лѣвой сторонѣ паровоза (колесоII) то мы опять получимъ (фиг 36) необходимость каче-



фиг. 37.

сенія двухъ противовѣсовъ: одного Q_1 противоположно a на томъ же колесѣ (лѣвомъ) и Q_2 въ направленіи a на другомъ колесѣ. Такимъ образомъ на каждомъ колесѣ должно быть расположено два противовѣса Q_1 и Q_2, центры тяжести которыхъ удалены на ρ отъ оси вращенія. Складывая ихъ вѣса геометрически (фиг.37) получимъ равнодѣйствующій противовѣсъ Q численно равный

$$Q=\sqrt{Q_1^2+Q_2^2},$$

центръ тяжести котораго удаленъ на то же разстояніе ρ отъ оси вращенія. При этомъ мы видимъ, что направленіе линіи, проведенной изъ центра вала черезъ центръ тяжести противовѣса Q образуетъ съ направленіемъ продолженія кривошипа уголъ φ численно опредѣляемый равенствомъ:

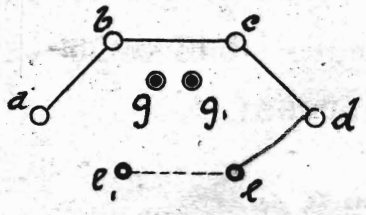
$$tg\,\varphi=\frac{Q_2}{Q_1}.$$

При этомъ на одномъ колесѣ уголъ этотъ отложенъ впереди направленія продолженнаго кривошипа, если смотрѣть по направленію движенія колеса, а на другомъ колесѣ позади продолженія кривошипа. Уголъ φ назнвается угломъ опереженія (или запаздыванія) противовѣса. Сами же противовѣсы при обычномъ между кривошипами(90°) получаются въ противоположныхъ квадрантахъ колесъ. Изложенное позволяетъ разсчитывать новые противовѣсы и провѣрять сдѣланные уже для всѣхъ случаевъ, возможныхъ на практикѣ, введя разумѣется тѣ измѣненія, которыя внесятъ съ собою внутренніе цилиндры и измѣненіе угловъ заклиненія кривошиповъ.

§ 24. Возникновеніе и величина подергиваній паровоза.

Усиліе передаваемое упряжной рессорой между паровозомъ и тендеромъ.

Мы видѣли, что у насъ осталась неуравновѣшенной часть горизонтальной силы инерціи, равная по величинѣ $(1-\alpha)(0,4\,Q_3+Q_4)$. Она вызываетъ подергиванія нарессорной части паровоза, т.е. движенія ея въ направленіи продольной оси паровоза. Это явленіе очевидно изъ теоремы о сохраненіи центра тяжести при движеніи матеріальной системы: если (фиг.38) предположимъ имѣемъ



фиг.38.

систему матеріальныхъ точекъ а, в, с, д, е, причемъ центръ тяжести системы авсд находится въ g, и одна изъ матеріальныхъ точекъ е перемѣстилась въ e_1, то центръ тяжести остальныхъ матеріальныхъ точекъ долженъ, для сохраненія общаго центра тяжести системы, перемѣстится въ противоположномъ направленіи въ g_1, причемъ gg_1 и ee_1 стоятъ въ обратномъ отношеніи съ массами системы авсд и точки е. Роль системы авсд играетъ въ паровозѣ нарессорная часть, а точки е - неуравновѣшенныя возвратно-движущіяся массы $(1-\alpha)(0,4\,Q_3+Q_4)$.

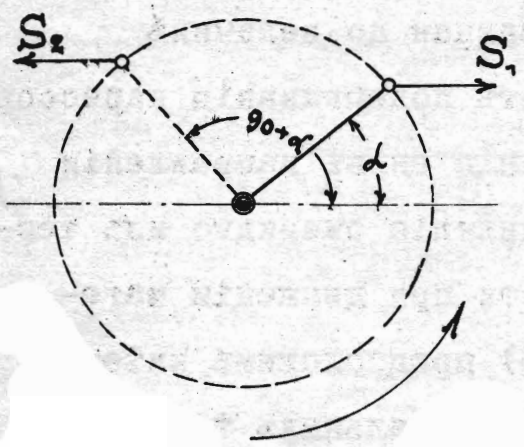
Уравненіе подергиванія очевидно можетъ быть написано въ видѣ $S_x=\frac{P_н}{g}\cdot\frac{d^2x}{dt^2}$ гдѣ

S_x – сумма силъ инерціи (неуравновѣшенныхъ) возвр. - движ. массъ,

$P_н$ – вѣсъ нарессорной части паровоза,

$\frac{d^2x}{dt^2}$ -ускореніе, сообщаемое силами S_x по оси x -продольной оси паровоза.

Очевидно, что $S_x = S_1 + S_2$, гдѣ S_1 и S_2 неуравнов. силы инерціи для правой и лѣвой стороны паровоза.



фиг. 39.

(фиг. 39) При углѣ поворота кривошипа α, если не будетъ принята конечная длина шатуна, горизонтальная сила инерціи неуравновѣшенныхъ массъ выразится

$$S_1 = -\frac{r\omega^2}{g} \cdot q \cdot \cos\alpha ,$$

а для другого кривошипа (лѣвой стороны)

$$S_2 = -\frac{r\omega^2}{g} q \cos(90+\alpha) = +\frac{r\omega^2}{g} q \sin\alpha, \text{ гдѣ}$$

$$q = (1-\alpha)(0{,}4\,Q_3 + Q_4)$$

На основаніи этого

$$S_x = S_1 + S_2 = -\frac{r\omega^2}{g} \cdot q(\cos\alpha - \sin\alpha) \text{ или}$$

$$\frac{P_н}{g} \cdot \frac{d^2x}{dt^2} = -\frac{r\omega^2}{g} \cdot q(\cos\alpha - \sin\alpha)$$

Это уравненіе по подстановкѣ $\omega = \frac{d\alpha}{dt}$ можетъ быть написано въ видѣ

$$d^2x = -\frac{rq}{P_н}(\cos\alpha - \sin\alpha)\,d\alpha^2 \text{ или}$$

$$d^2x = +\frac{rq}{P_н}\frac{d^2}{d\alpha^2}(\cos\alpha - \sin\alpha) .$$

Откуда послѣ интегрированія $x = C + \frac{rq}{P_н}(\cos\alpha - \sin\alpha)$, гдѣ C постоянная интегрированія.

Для опредѣленія C полагаемъ, что при $t = 0$ и $\alpha = 0$, а $x = x_0$. Тогда найдемъ постоянную интегрированія C:

$$x_0 = C + \frac{rq}{P_н} \text{ или } C = x_0 - \frac{rq}{P_н} = A .$$

Послѣ чего получаемъ:

$$x = A + \frac{rq}{P_н l}(\cos\alpha - \sin\alpha)$$

Это выраженіе достигаетъ максимума и минимума при $-\sin\alpha - \cos\alpha = 0$, что удовлетворяется при $\alpha = 315^\circ$ (максимумъ) и при $\alpha = 135^\circ$ (минимумъ) причемъ тогда численное значеніе $(\cos\alpha - \sin\alpha) = \pm\sqrt{2}$.

Очевидно, что:

$$x_{max.} = A + \frac{rq}{P_н l}\sqrt{2}$$

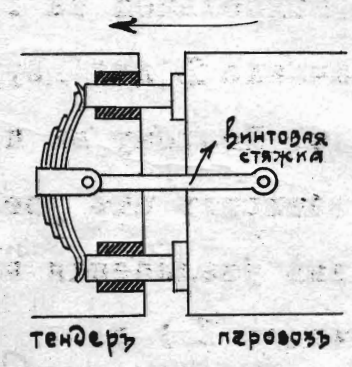
$$x_{min.} = A - \frac{rq}{P_н l}\sqrt{2}.$$

Вычитая второе изъ перъаго получимъ:

$$x_{max} - x_{min} = x_н = 2\sqrt{2}\,\frac{rq}{P_н l}$$

Это и есть амплитуда подергиванія подвѣшенной части паровоза.

Подергиваніе паровоза, оставаясь явленіемъ безопаснымъ хотя и непріятнымъ (многіе называютъ такія движенія паразитными) вызываетъ измѣненіе въ усиліи, которое передается упряжнымъ приборамъ тендеру, если этотъ упряжной приборъ (фиг.40) передаетъ усиліе помощью рессоры (напр. при заднемъ ходѣ нашихъ нормальныхъ паровозовъ, когда сила тяги передается буферами на упряжную рессору или если паровозъ запряженъ переднимъ крюкомъ). Если назвать въ этомъ случаѣ Z среднюю цил. силу тяги (вычисляемую обычно при 60% наполненія), а βZ -наибольшую воз-



фиг. 40.

можную величину силы тяги, W_L сопротивленіе самаго паровоза движенію и ж коэффиціентъ жесткости *) упряжной рессоры, то наибольшее усиліе передаваемое рессорой будетъ

$$F = \beta Z - W_L + ж \cdot \frac{2rq}{P_н}\sqrt{2}.$$

Имѣя въ виду первые обороты колеса послѣ трогания съ мѣста паровоза, когда (при наполненіи 80%) усиліе тяги значительно больше Z и равно βZ (гдѣ $\beta > 1$), а также то обстоятельство, что за I оборотъ колеса величина Z мѣняется въ зависимости отъ положенія кривошипа (см. § 14), то можно принять, что $\beta Z = 1{,}25Z + \gamma Z$ **), причемъ можно положить $\gamma Z = W_L$ (сопротивленіе W_L при малой скорости весьма мало). А потому окончательно можно предположить, что рессора передаетъ усиліе

$$F = 1{,}25Z + ж\,\frac{2r(1-\alpha)(0{,}4Q_з + Q_у)\sqrt{2}}{P_н}$$

---

*) Коэффиціентомъ жесткости рессоры ж называется величина силы въ kg., соотвѣтствующей $1\frac{m}{m}$ прогиба рессоры; прогибъ рессоры прямо пропорціоналенъ дѣйствующей силѣ.

**) Коэффиціентъ 1,25 есть отношеніе наибольшей за I оборотъ силы тяги къ среднему ея значенію Z для двухцилиндроваго паровоза простого дѣйствія. Поэтому мы и принимаемъ $\beta = 1{,}25 + \gamma$, причемъ γ зависитъ отъ увеличенія средней силы тяги подъ вліяніемъ увеличенія наполненія съ 60 % (при которомъ считана Z) до 80 - 90 % при троганіи съ мѣста (Z увеличивается при этомъ процентов на 30-35; мы считаем, что это увеличение идет целиком на преодоление сопротивления паровоза W_L).

Напримѣръ для паровоза, у котораго:

$Z = 10000$ кд. $r = 0{,}3$ м. $q = 200$ кд. $P_н = 50000$ кд.

и $ж = 100$ кд/мм.

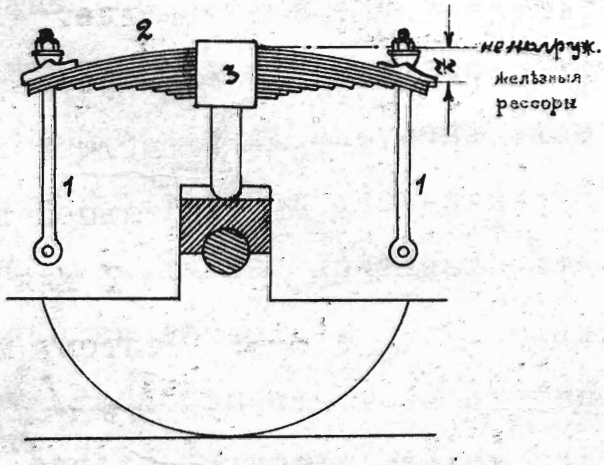
$$F_{max} = 12850 \text{ кд.}$$

На это усилiе и должна быть на прочность провѣрена упряжная рессора, принимая во вниманiе, что винтовой стяжкой рессора будетъ еще предварительно нагружена около 2000 - 3000 кд., т.е. усилiя для провѣрки на прочность въ примѣрѣ будетъ около 15000 кд

Глава IУ. ВЗАИМОДѢЙСТВIЕ КОЛЕСА И РЕЛЬСА.

А) Вертикальное давленiе колеса на рельсъ.

§ 25. Понятiе о рессорахъ и качанiи подвѣшенной части паровоза. Вліянiе качанiя рессоръ на вертикальное давленiе колеса на рельсъ.



фиг.41.

Вѣсъ рамъ паровоза со всѣми частями, расположенными на нихъ (котелъ, цилиндры, будка маш. и т.д.) передается не непосредственно, во избѣжанiе вреднаго вліянiя толчковъ отъ неровностей пути, а чрезъ посредство (фиг.41) подвѣсокъ I и рессоры 2, представляющей пакетъ стальныхъ упругихъ листовъ въ видѣ тѣла равнаго сопротивленiя на изгибъ и рессорнаго лому-

та 3 съ шпинтономъ, упирающимся на буксу оси. Прогибъ рессоры пропорціоналенъ приложенному къ ней грузу, т.е можно написать равенство

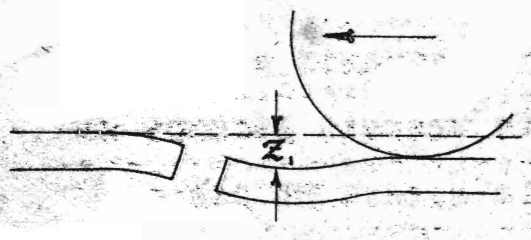
$P = ж z$, гдѣ

P – нагрузка на конецъ рессоры въ kg.

z – прогибъ ея въ m/m

$ж$ – коэф. жесткости, представляющ. число kg. груза на $1 mm$ стрѣлы прогиба.

Если стрѣла прогиба была бы измѣнена съ Z на $Z+Z_1$, напримѣръ вслѣдствіе существованія неровности пути (фиг.42) въ стыкѣ рельсовъ то очевидно, что реакція рессоры увеличится и будетъ равна $P_1 = ж Z + ж z_1$.



фиг. 42.

На ту же величину $ж z_1$ увеличилось бы очевидно и давленіе отъ колеса на рельсъ. Однако, какъ показываетъ теоретическое изслѣдованіе и опиты надъ рессорами, если нагрузка къ рессорѣ приложена мгновенно, то рессора начинаетъ колебаться, причемъ стрѣлка прогиба ея можетъ оказаться значительно больше того z_1, которое соотвѣтствуетъ медленной нагрузкѣ. Такой именно случай и имѣетъ мѣсто въ паровозѣ, такъ какъ прогибы рессоры происходятъ почти мгновенно. Очевидно поэтому, что если статическая нагрузка передаваемая колесомъ рельсу есть $P = ж z$ (z прогибъ подъ статической нагрузкой), а наибольшій прогибъ вслѣдствіе колебанія рессоры есть $\pm z_2$ то давленіе колеса на рельсъ

будетъ: $P_1 = P \pm \Delta P = P \pm Ж Z_2$ ..... (А).

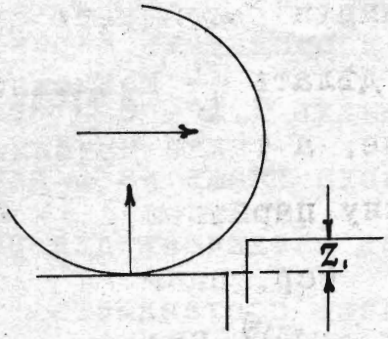
Статическая нагрузка P для нашихъ нормальныхъ широколейныхъ ж.д. допускается въ предѣлахъ 7,5 - 8 tonnъ въ зависимости отъ профиля рельсъ и числа шпалъ на I длины на колесо. Коэффиціентъ ж рессоръ различенъ для разныхъ типовъ подвѣшенія, но въ среднемъ составляетъ $Ж = 60\text{-}70$ $^{kg}/_{mm}$ (часто въ старыхъ паровозахъ однако до 100-150). Величина Z_2 наибольшихъ колебаній рессоры по опытамъ Ю.В.Ломоносова на Харьково-Николаевской ж.д. можетъ быть принята около ± 20 $^{m}/_{m}$. Вредное вліяніе качанія рессоръ парализуется отчасти тѣмъ, что отдѣльныя рессоры качаются по разнымъ законамъ, затѣмъ существованіемъ внутренняго тренія между листами рессоръ и наконецъ присутствіемъ балансировъ, соединяющихъ отдѣльныя рессоры и передающія колебанія одной рессоры на другую.

Обратимся теперь къ выясненію причинъ, вызывающихъ качаніе нарессорной части паровоза, и способамъ уменьшенія добавочнаго (вслѣдствіе колебанія) давленія колеса на рельсъ. Причины колебаній лежатъ въ

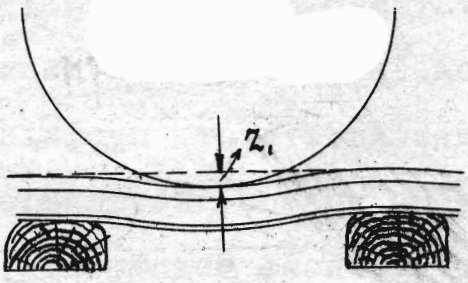
а) неровностяхъ пути и в) въ дѣйствіи машины паровоза.

а) Неровности пути встрѣчаются прежде всего на стыкахъ рельсовъ, которые изнашиваются отъ времени и создаютъ неровность (фиг.42а). Кромѣ того рельсъ изгибается (фиг.43) при прохожденіи колесъ ось пролета между двумя сосѣдними шпалами, чѣмъ создается также неровность пути.

в) Дѣйствіе машины паровоза.

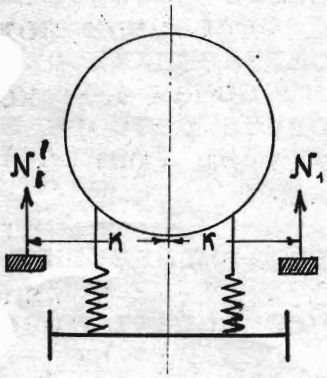


фиг. 42а.

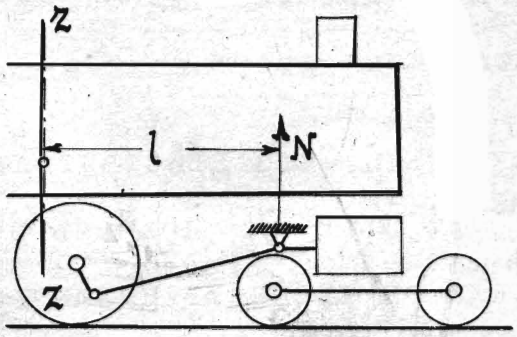


фиг. 43.

При разсмотрѣніи силъ дѣйствующихъ въ машинѣ (§14) мы нашли силу N перемѣнную по величинѣ, дѣйствующую на параллели. Вмѣстѣ съ нею дѣйствуетъ еще составляющая вертикальной силы инерціи ведущаго шатуна. Силы эти (фиг.44) создаютъ перемѣнный моментъ $N_1 к - N_1' к$, вызывающій поперечную качку паровоза или перевалку, результатомъ которой является измѣненіе стрѣлокъ прогиба рессоръ. Такъ какъ сила давка $N = P_0 \frac{r}{L} \sin\alpha$, то очевидно, что явленіе перевалки будетъ меньше при малыхъ значеніяхъ $\frac{r}{L}$ т.е. длинномъ шатунѣ. Для уменьшенія момента силъ N_1 важно кромѣ того уменьшать плечо К, т.е. разстояніе отъ оси паровоза до средины цилиндра (напр. дѣлать внутреннія цилиндры). Тѣ же самыя силы создаютъ еще продольную качку или ныряніе паровоза (фиг.45) такъ какъ даютъ моментъ Nl гдѣ l есть разстояніе отъ положенія крейцкопфа до вертикальной оси, проходящей черезъ центръ тяжести паровоза

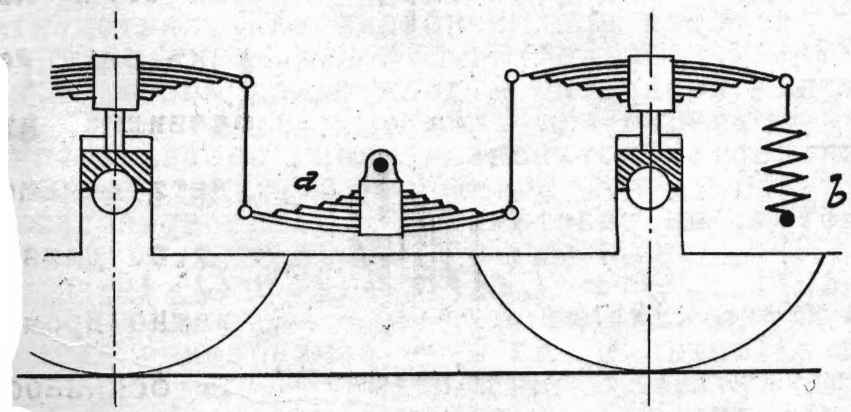


фиг. 44.



Фиг. 45.

Очевидно, что для уменьшенія нырянія слѣдуетъ опять таки дѣлать $\frac{r}{L}$ возможно меньше, а также приближать средину параллелей къ оси ZZ. (ср. напр. паровозы Crampton'a)*). Однако несмотря на всѣ принимаемыя мѣры колебаніе рессоръ будетъ всегда происходить. Чтобы уменьшить добавочное давленіе ΔP при одномъ и томъ же Z_2 (наибольшая стрѣла прогиба вслѣдствіе качанія), слѣдуетъ коэффиціентъ жесткости дѣлать возможно меньше, вводя въ случаѣ надобности рессорные балансиры (обратныя рессоры) (а) или замѣняя рессорныя подвѣски витыми рессорами (в) благодаря чему общая жесткость подвѣшенія можетъ быть сильно уменьшена (фиг.46). Если для примѣра принять ж=150 и Z_2=20% то $\Delta P = \pm 3000$ кг. е достигается 40% статическ. нагр. колеса.



Фиг. 46.

*) Въ паров. Crampton'a это сдѣлано совершенно случайно т.к. имѣлась въвиду другая цѣль-возможн. помѣщ. ведущ. оси сзади топки для свободн. конструир. топки. Попутно пришлось сдвинуть параллели и цилиндры нѣсколько назад.

§ 26. Дѣйствіе на путь противовѣса возвратно - движущихся массъ.

При разсчетѣ противовѣса мы видѣли, что дѣйствительный противовѣсъ слагается изъ двухъ Q_1 и Q_2 причемъ первый Q_1 больше (или меньше для внутреннихъ цилиндровъ) потреднаго вѣса для случая помѣщенія центра тяжести противовѣса въ одной вертикальной плоскости, въ которой дѣйствуетъ уравновѣшиваемая сила въ $\frac{a+s}{2s}$ разъ, а Q_2 меньще его въ $\frac{a-s}{2s}$ разъ. Оба противовѣса складывались въ одинъ равнодѣйствующій, которнй больше (меньше) теоретическаго въ $\lambda = \sqrt{\left(\frac{a+s}{2s}\right)^2 + \left(\frac{a-s}{2s}\right)^2} = \frac{\sqrt{2}}{2s}\sqrt{a^2+s^2}$ разъ

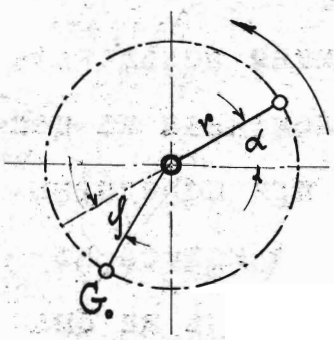
Примѣчаніе: среднее значеніе λ для случая внѣшнихъ цилиндровъ $\lambda = 1{,}2$ для случая внутреннихъ (между рамъ) цилиндровъ $\lambda = 0{,}8$.

Въ такой же степени очевидно измѣнился и вѣсъ той части противовѣса, которая предназначена для уничтоженія части силъ инерціи возвратно - движущихся массъ, т.е. соотвѣтственная часть противовѣса равна очевидно (считая Q_0' сосредоточ. на разстояніи r (длина кривошипа) отъ оси вращенія) $Q_0' = \lambda\alpha(0{,}4Q_3 + Q_4)$.

Для уменьшенія вліянія Q_0' на путь обыкновенно вѣсъ Q_0' распредѣляютъ поровну на всѣ сцѣпныя колеса, а не сосредоточиваютъ на одномъ ведущемъ, такъ что при n сцѣпныхъ осяхъ получимъ интересующій насъ вѣсъ противовѣса для возвратно - движущихся массъ на одномъ колесѣ

$$Q_0 = \lambda\frac{\alpha}{n}(0{,}4Q_3 + Q_4).$$

Этотъ противовѣсъ и вліяетъ на величину вертикальной реакціи рельса, т.к. вертикальныя силы инерціи его равныя (фиг.47)



фиг. 47.

$$U_в = \frac{r\omega^2}{g} \cdot \lambda \cdot \frac{\alpha}{n} (0{,}4 Q_3 + Q_4) \sin(\alpha+\varphi),$$

ничѣмъ не уравновѣшены. Уголъ φ здѣсь обозначаетъ уголъ опереженія (запозданія) противовѣса, что понятно изъ чертежа. Имѣя въ виду, что угловая скорость $\omega = 2\pi u$ гдѣ u сѣкундное число оборотовъ движущихъ колесъ, равное

$$u = 88{,}5 \frac{V^{km/h}}{D^{m/m}},$$ гдѣ V – скорость движенія,

„ D – діаметръ движ. колесъ

можемъ написать, что

$$U_в = 4 r u^2 \cdot \lambda \frac{\alpha}{n} (0{,}4 Q_3 + Q_4) \sin(\alpha+\varphi) \ldots\ldots (5).$$

полагая $\pi^2 \cong g$.

Очевидно, что $U_в$ достигаетъ максимума при $\sin(\alpha+\varphi) = 1$, т.е. при $\alpha = 90^\circ - \varphi$, когда произойдетъ увеличеніе давленія отъ колеса на рельсъ и минимума при $\sin(\alpha+\varphi) = -1$ т.е. при $\alpha = 270 - \varphi$, когда будетъ происходить разгрузка.

Обыкновенно провѣрку производятъ при $u = 5$-6, считая случай буксованія паровоза. Желательно, чтобы $U_в$ было меньше 25% отъ статической нагрузки колеса на рельсъ. Для примѣра положимъ: $\varphi = 0$; $0{,}4 Q_3 + Q_4 = 200$ кг; $n = 2$; $\alpha = 0{,}5$; $\lambda = 1{,}2$; $u = 5$ и $r = 0{,}3$ м., тогда

$$U_{в\,\substack{max.\\min}} = \pm 1800 \text{ кг}.$$

§ 27. Дѣйствіе на путь силы, приложенной къ параллелямъ паровоза.

Въ § 14 была найдена сила $\mathcal{N}$, возникающая вслѣдствіе давленія крейцкопфа на параллели и приложенная къ центру ведущаго ската. Направленіе силы $\mathcal{N}$ при переднемъ ходѣ паровоза всегда въ смыслѣ прижиманія колеса къ рельсу (+), при заднемъ ходѣ всегда (-). Тамъ же была найдена и величина этой силы

$$\mathcal{N} = P\frac{r}{L}\sin\alpha ,$$

гдѣ

P - давленіе на поршень.

Это P слагается изъ P_x -давленія пара на поршень, которое очевидно можетъ быть принято $\frac{\pi d^2}{4}\cdot\beta\cdot p_к$, гдѣ

$\beta \cong 0.6$ (среднее значеніе)

$p_к$ = давленіе пара въ котлѣ и

d - діаметръ цилиндра,

и неуравновѣшенной противовѣсомъ силы инерціи возвратно - движущихся массъ, равной (при безконечно длинномъ шатунѣ). $-\frac{r\omega^2}{g}(1-\alpha)(0{,}4\,Q_3+Q_4)\cos\alpha$.

Подставляя вмѣсто P его значеніе, получимъ:

$$\mathcal{N} = \frac{\pi d^2}{4}\beta\cdot p_к\frac{r}{L}\cdot\sin\alpha - \frac{r\omega^2}{g}(1-\alpha)(0{,}4\,Q_3+Q_4)\frac{r}{L}\cos\alpha\cdot\sin\alpha =$$

$$= 0{,}6\,p_к\cdot\frac{\pi d^2}{4}\cdot\frac{r}{L}\sin\alpha - \frac{4\pi^2 r u^2}{2g}(1-\alpha)(0{,}4\,Q_3+Q_4)\frac{r}{L}\sin 2\alpha$$

$$\mathcal{N} = 0.6\,p_к\cdot\frac{\pi d^2}{4}\cdot\frac{r}{L}\cdot\sin\alpha - 2u^2 r(1-\alpha)(0{,}4\,Q_3+Q_4)\frac{r}{L}\sin 2\alpha \quad \ldots (B).$$

Это выраженіе можетъ быть написано въ общемъ видѣ, какъ

$$N = A \sin\alpha - B \sin 2\alpha .$$

Оно достигаетъ максимума или минимума при $\cos\alpha = \frac{2B}{A}\cos 2\alpha$, что удовлетворяется только при $\alpha = 90^\circ$ и $\alpha = 270^\circ$, т.е при $\sin\alpha = 1$ и $\sin 2\alpha = 0$. Поэтому максимальное значеніе величины N есть $N = 0{,}6\, p_к \cdot \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{L}$.

Для примѣра положимъ: $d = 60$ см.; $p_к = 12$ atm.; $\frac{r}{L} = \frac{1}{6}$

Тогда $N_{\substack{max \\ min.}} = \pm 3360$ kg.

§ 28. Полная величина вертикальнаго давленія колеса на рельсъ.

Предполагая статическое давленіе колеса на рельсъ равнымъ P_{kg} и прибавляя къ нему величины (А), (Б), и (В), найденныя въ § 25-27 этой главы, получимъ полное вертикальное давленіе колеса на рельсъ:

$$\Pi = P \pm Z_2 ж \mp 4 r u^2 \lambda \frac{\alpha}{n}(0{,}4 Q_3 + Q_4)\sin(\alpha+\varphi) \pm$$

$$\pm 0{,}6\, p_к \frac{\pi d^2}{4} \cdot \frac{r}{L} \cdot \sin\alpha \mp 2 u^2 r (1-\alpha)(0{,}4 Q_3 + Q_4)\frac{r}{L}\sin 2\alpha .$$

Для полученія максимума и минимума этой величины, мы должны взять первую производную отъ Π по α и, приравнявъ нулю, опредѣлить потребное α, при которомъ Π максимумъ

Полагая для простоты $\varphi = 0$ и предполагая данныя приведенныя въ § 25-27 для примѣра, получимъ напримѣръ:

$$\Pi = 7500 \pm 3000 \pm 1800 \pm 3360 \text{ kg.}$$

т.е. $\Pi_{max} = 15660$ kg. и $\Pi_{min} = -660$ kg.

Въ данномъ примѣрѣ мы получили совершенно недопустимыя явленія: вертикальное давленіе доходитъ больше чѣмъ до удвоеннаго статическаго и опускается до отрицательной величины, т.е. колесо не только будетъ вполнѣ разгружено въ эти моменты, но и даже имѣется сила подымающая колесо съ рельса. Катастрофы въ такихъ случаяхъ неизбѣжны.

Для приведенія Π къ допустимому виду можно предложить:

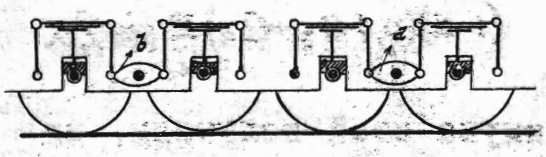
уменьшать жесткость рессоръ Ж до 60-70 $^{kg}/_{mm}$.

уменьшать коэффиціентъ уравновѣшиванія α до 0,15

уменьшать $\frac{r}{L}$ до $\frac{1}{7} \div \frac{1}{8}$

дѣлать внутр. цилиндры т.е. уменьшать λ до 0,8.

Кромѣ того въ виду особой опасности явленій разгрузки для набѣгающей оси паровоза слѣдуетъ крайнія рессоры соединять балансирами а (фиг.48) для выравниванія нагрузокъ. Примѣръ подвѣшиванія для паровоза 4/4 изображенъ на фиг. 48. При такихъ условіяхъ въ виду несинхроничности качанія отдѣльныхъ рессоръ трудно допустить, чтобы могла произойти полная разгрузка колеса. Только при очень большихъ скоростяхъ балансиры могутъ вслѣдствіе иперціи неуспѣвать выравнивать нагрузки а потому въ этомъ случаѣ полезное значеніе ихъ нѣсколько уменьшается. Совершенно недопускается соединеніе балансирами всѣхъ рессоръ



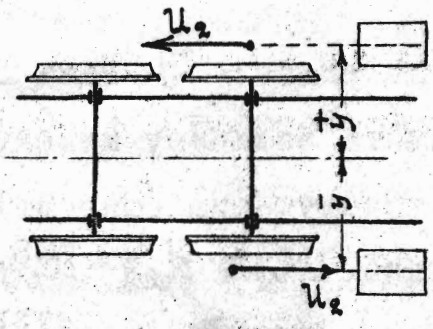
фиг. 48.

паровоза.

Б. Горизонтальное давленіе колеса на рельсъ.

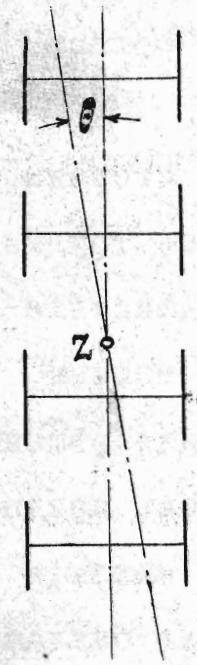
§ 29. Вилянie паровоза.

Вилянie.паровоза обусловливается съ одной стороны коничностью бандажей колесъ (вліянie, которое трудно поддается изслѣдованію) и съ другой стороны дѣйствіе неуравновѣшенныхъ возвратно-движущихся массъ машины, создающихъ моменты $\Sigma U_2 y = M_Z$ (фиг.49). Мы для рѣшенія нашей задачи сдѣлаемъ предположеніе, что моментъ вилянія создаваемый коничностью бандажей M_c уравновѣшивается вполнѣ (чего на самомъ дѣлѣ нѣтъ[x]) моментомъ сопротивленія M_f создаваемымъ силами тренія колесъ о рельсы и будемъ разсматривать явленіе вилянія паровоза совершающимся только подъ вліяніемъ силъ инерціи, т.е. момента M_Z. На самомъ же дѣлѣ коничность бандажей усиливаетъ вилянie, а слѣдовательно и увеличиваетъ тѣ результаты, которые мы получимъ, не принимая M_c во вниманіе. Итакъ, силы инерціи и коничность скатовъ создаютъ моментъ, заставляющій паровозъ поворачиваться на уголъ θ около вертикальной оси Z проходящей черезъ центръ тяжести паровоза. (Фиг.50).



фиг. 49.

x)Напр. вагоны электрическихъ трамваевъ на смотря на отсутствіе момента M_Z сильно вилятъ, что можно объяснить только тѣмъ, что $M_c > M_f$.



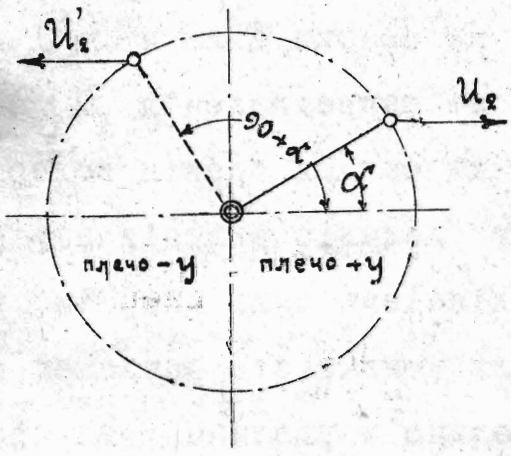
фиг. 50.

Уравненіе вилянія, согласно правилъ теоретической механики, можетъ быть поэтому написано:

$J\frac{d^2\theta}{dt^2}=M_z+M_c-M_f$ или предполагая, какъ мы только что высказались $M_c=M_f$:

$J\frac{d^2\theta}{dt^2}=M_z$, гдѣ J моментъ инерціи паровоза около оси ZZ и $\frac{d^2\theta}{dt^2}$ угловое ускореніе.

Для опредѣленія угла вилянія θ намъ очевидно необходимо найти величину момента M_z къ чему мы и приступаемъ (фиг. 51)



фиг. 51.

Очевидно $M_z=U_z y-U'_z y$,

но $U_z=-\frac{r\omega^2}{g}q\cos\alpha$

$U'_z=-\frac{r\omega^2}{g}q\cos(90+\alpha)=\frac{r\omega^2}{g}q\sin\alpha$.

Если принять по прежнему $q=(1-\alpha)(0,4Q_3+Q_4)$ и считать ведущій матунъ безконечно длиннымъ, Поэтому M_z можетъ быть представленъ въ видѣ

$$M_z=-\frac{r\omega^2}{g}q\,y\cos\alpha-\frac{r\omega^2}{g}q\,y\sin\alpha=$$

$$M_z=-\frac{r\omega^2}{g}q\,y\,(\cos\alpha+\sin\alpha)\ *)$$

---

*) Можно обычнымъ путемъ найти, что максимумъ M_z есть $M_{z\,max.}=\frac{r\omega^2}{g}q\,y\sqrt{2}$ при $\alpha=225^\circ$ и при $\alpha=45^\circ$ наступаетъ численно равный минимумъ.

На этомъ основаніи уравненіе вилянія можетъ быть написано $J\frac{d^2\theta}{dt^2} = -\frac{r\omega^2}{g}q_y(\cos\alpha+\sin\alpha)$.

Откуда, подставляя вмѣсто ω равную ей величину $\frac{d\alpha}{dt}$

$d^2\theta = -\frac{r}{g}\cdot\frac{q_y}{g}(\cos\alpha+\sin\alpha)d\alpha^2$ или $d^2\theta = \frac{r}{g}\cdot\frac{q_y}{g}\cdot\frac{d^2}{d\alpha^2}(\cos\alpha+\sin\alpha)$.

Интегрируя, находимъ $\theta = C + \frac{r}{g}\cdot\frac{q_y}{g}(\cos\alpha+\sin\alpha)$

Полагая, что при $t=0$, $\alpha=0$ и $\theta=\theta_0$, можемъ опредѣлить постоянную интегрированія C изъ уравненія $\theta_0 = C + \frac{r}{g}\cdot\frac{q_y}{g}$ или $C=A$.

Тогда

$$\theta = A + \frac{r}{g}\cdot\frac{q_y}{g}(\cos\alpha+\sin\alpha)$$

Максимумъ и минимумъ этой величины находимъ, приравнивая $-\sin\alpha+\cos\alpha=0$; т.е. $\sin\alpha=\cos\alpha$, что даетъ максимумъ при $\alpha=45^\circ$ и минимумъ при $\alpha=225^\circ$ когда значеніе $(\cos\alpha+\sin\alpha)=\pm\sqrt{2}$. Поэтому находимъ

$$\theta_{max.} = A + \frac{r}{g}\cdot\frac{q_y}{g}\sqrt{2}$$

$$\theta_{min} = A - \frac{r}{g}\cdot\frac{q_y}{g}\cdot\sqrt{2}$$

Полный же наибольшій размахъ

$$\theta_n = \theta_{max} - \theta_{min} = 2\frac{r}{g}\cdot\frac{q_y}{g}\sqrt{2}.$$

Зная полный наибольшій уголъ размаха и разстояніе наиболѣе удаленной оси паровоза отъ центра тяжести паровоза предположимъ l, находимъ для этой оси амплитуду вилянія $Z_6 = \theta_n l$ или

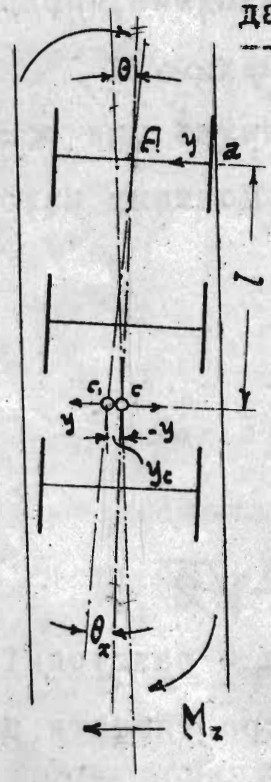
$$\underline{Z_6 = 2\frac{r}{g}\cdot\frac{q_y}{g}\cdot l\sqrt{2}}$$

Для примѣра вычислимъ Z_θ при слѣдующихъ данныхъ:

$\frac{r}{g}=\frac{1}{30}$; $J=30000$; $q_y=1000$ и $l=3,5$ m.

тогда получимъ $Z_\theta=10,5$ m/m. Это показываетъ, что въ этомъ случаѣ возможно уже удары колеса о рельсъ, такъ какъ сумма зазоровъ между бандажемъ и рельсомъ при новыхъ бандажахъ $\delta=10$ m/m т.е. меньше Z_θ. Если же принять въ соображеніе, что M_c-M_f всегда больше нуля, т.е. коничность бандажей сама по себѣ вызываетъ виляніе, которое можетъ суммироваться съ найденнымъ, то удары колеса о рельсъ и боковое давленіе со стороны колеса на рельсъ является неизбѣжными.

§ 30. Опредѣленіе горизонтальнаго давленія колеса на рельсъ.



Фиг. 52.

Мы вывели уравнен. вилянія въ общемъ видѣ $J\frac{d^2\theta}{dt^2}=M_z$, причемъ считали, что $M_c-M_f=0$. Это уравненіе будетъ справедливо только до момента удара колеса о рельсъ. Послѣ же удара передняго колеса о рельсъ центръ тяжести паровоза C будетъ по инерціи продолжать двигаться въ направленіи стрѣлки (фиг.52) и перемѣстится въ положеніе C_1, причемъ паровозъ будетъ поворачиваться на уголъ θ_x около точки A средины набѣгающаго ската. Этому вращенію, происходя-

щему подъ вліяніемъ момента M_z будетъ очевидно препятствовать моментъ Yl, гдѣ Y реакція рельса и l разстояніе набѣгающей точки ската „a" отъ центра тяжести паровоза C. Если будетъ происходить перемѣщеніе центра тяжести изъ C въ C_1, то это можетъ происходить только подъ вліяніемъ силы Y и этому перемѣщенію будетъ препятствовать очевидно сила тренія fP, гдѣ f коэффиціентъ тренія колесъ о рельсы и P полный вѣсъ паровоза. Это легко представить, если въ центръ тяжести паровоза C мы приложимъ двѣ равныя и прямопротивоположныя силы $=Y$. Тогда очевидно у насъ получится пара силъ Yl препятствующая вилянію и сила Y, производящая перемѣщеніе центра тяжести паровоза. Поэтому указанное явленіе можетъ быть охарактеризовано двумя уравненіями

$$J\frac{d^2\theta}{dt^2} = M_z - Yl \quad \ldots\ldots\ldots (1)$$

$$\frac{P}{g}\cdot\frac{d^2y_c}{dt^2} = Y - fP \quad \ldots\ldots\ldots (2)$$

гдѣ y_c - перемѣщеніе центра тяжести

P - вѣсъ паровоза.

Къ этимъ уравненіямъ можно присоединить еще третье, очевидно получающееся изъ чертежа: $y_c = l\theta_x$ ..... (3)

Теперь остается рѣшить эти уравненія относительно Y

Изъ уравненія (3), беря вторую производную по времени, находимъ $\frac{d^2y_c}{dt^2} = l\frac{d^2\theta_x}{dt^2}$

Подставляемъ полученное значеніе $\frac{d^2\theta_x}{dt^2}$ въ первое уравненіе:

$$\frac{J}{l}\cdot\frac{d^2y_c}{dt^2} = M_z - Yl$$

Но изъ второго (2) уравненія величина:

$$\frac{d^2 y_1}{dt^2} = \frac{Y - fP}{P/g}$$

а потому

$$\frac{J}{l} \cdot \frac{Y - fP}{P/g} = M_z - Yl .$$

Дальнѣйшее рѣшеніе изложено ниже:

$$Y \frac{g}{P} - f \frac{P}{P} g = M_z \frac{1}{J} - Y \frac{l^2}{J}$$

$$Y\left(\frac{g}{P} + \frac{l^2}{J}\right) = M_z \frac{1}{J} + fg$$

$$Y = \frac{M_z \frac{1}{J} + fg}{\frac{g}{P} + \frac{l^2}{J}} = \frac{M_z \frac{1}{J} + fg}{\frac{gJ + Pl^2}{PJ}} =$$

$$= \frac{M_z \frac{1}{J} PJ + fgPJ}{gJ + Pl^2} = \frac{P}{g} \cdot \frac{lM_z + Jfg}{J + \frac{P}{g} l^2}$$

Теперь мы замѣчаемъ, что знаменатель этого выраженіе представляетъ собою ничто иное, какъ моментъ инерціи паровоза относительно оси А, проходящей черезъ средину набѣгающаго ската. Поэтому

$$Y = \frac{P}{g} \cdot \frac{lM_z + Jfg}{J_A}, \text{ или}$$

$$Y = \frac{J}{J_A} fP + \frac{P}{g} \cdot \frac{l}{J_A} \cdot M_z .$$

Очевидно, что $Y_{max.}$ будетъ при M_z максимумъ, а потому, подставляя его значеніе, найденное въ примѣчаніи предыдущаго параграфа, находимъ наибольшую величину горизонтальной реакціи рельса, а слѣдовательно и давленія на него со стороны колеса:

$$y_{max} = \frac{J}{J_A} f P + \frac{P}{g} \cdot \frac{l}{J_A} \cdot \frac{r\omega^2}{g} \cdot q_y \sqrt{2}$$

Полагая для примѣра:

$J = 50000$; $\frac{J}{J_A} = \frac{2}{5}$; $\frac{P}{g} = 5000$; $l = 2\,m.$

$\frac{r}{g} = \frac{1}{38}$; $\omega^2 = 600$ и $q_y = 1000$,

получимъ: $y_{max} = 13000\,mg$. Этотъ примѣръ показываетъ, что величина y_{max} можетъ быть очень великъ и что игнорировать вопросъ о горизонтальномъ давленіи колеса на рельсъ не слѣдуетъ.

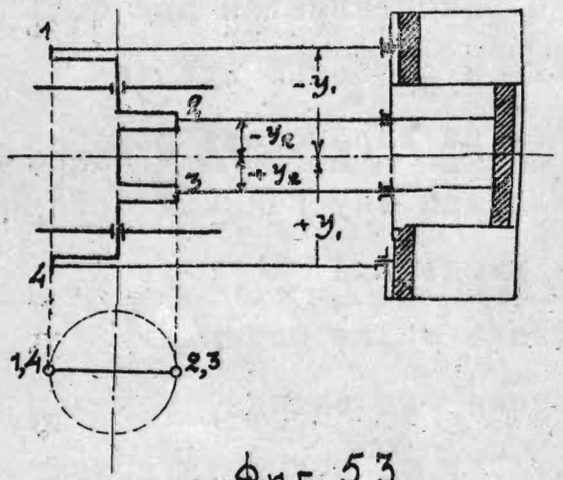
Какъ увидимъ ниже (въ § о телѣжкахъ) величина y уменьшается до ничтожной сравнительно величины путемъ примѣненія телѣжекъ съ боковымъ перемѣщеніемъ и возвращающей силой, что поэтому особенно рекомендуется при большихъ ω , т.е. для пассажирскихъ и особенно курьерскихъ паровозовъ. Далѣе для тѣхъ же паровозовъ полезно уменьшать y напр. дѣлать цилиндры внутренними (сильно распространено въ Англіи) и уменьшать ω , увеличивая діаметръ колесъ D Полезно также поднимать центръ тяжести котла надъ рельсами, не выходя, конечно за предѣлы устойчивости паровоза, т.е. повышать положеніе оси котла, какъ наиболѣе тяжелой части. Подробное разсужденіе о повышеніи центра тяжести паровоза желающіе могутъ найти въ Бюллетеняхъ Политехническаго Общества (Москва) за 1910г. въ статьѣ г.Пенязева о новыхъ паровозахъ Коломенскаго завода.

---

*) См. также В.В. Фармаковскій „Общій разсчетъ паровоза и тендера", Кіевъ 1912, стр. 78.

§ 31. Понятіе объ "уравновѣшенныхъ"паровозахъ.

Мы видѣли, что несмотря на принимаемыя мѣры обычный паровозъ даетъ увеличеніе (уменьшеніе) вертикальнаго давленія колеса на рельсъ, пропорціональное величинѣ коэффиціента уравновѣшенія возвратно - движущихся массъ α . Неуравновѣшенныя же силы инерціи, пропорціональныя $(1-\alpha)$ вызываютъ подергиваніе, характеризующееся амплитудой x_n и виляніе, характеризующееся величиной момента M_z. Полнаго уничтоженія нежелательныхъ явленій можно было бы достигнуть при 4-хъ одинаковаго діаметра цилиндра съ заклиненіемъ кривошиповъ по ф. 53: всѣ цилиндры расположить въ рядъ, кривошипы двухъ сосѣднихъ цилиндровъ, напр. I и 2 заклинить подъ угломъ 180° и двухъ не смежныхъ одноименныхъ цилиндровъ, напр. I и 4 подъ угломъ 0°. Тогда очевидно мы могли бы положить для разсчета противовѣсовъ $\alpha = 0$ и тѣмъ уничтожить явленіе перегрузки рельса въ вертикальномъ направленіи, кромѣ того получили бы $x_n = 0$ и $M_z = 0$ т.е. устранили бы явленія подергиванія и вилянія, поскольку послѣднее зависитъ отъ дѣйствія машины. Указанное расположеніе однако не можетъ быть практически выполнено, т.к. въ нѣкоторыхъ положеніяхъ машины было бы



фиг. 53.

невозможно трогание съ мѣста.

Измѣненіе же способа заклиненія кривошиповъ и нарушеніе равенства діаметровъ цилиндровъ (напр. въ машинахъ "компаундъ"), сказывается конечно на результатахъ, поэтому существующія системы "уравновѣшенныхъ паровозовъ", какъ то де-Глена, фонъ-Борриса, Вебба, Коле и т. п. или даютъ x)

$x_h = 0$ и $M_z \neq 0$ при коэффиціентѣ

или $M_z = 0$ и $x_h \neq 0$ уравновѣшенія $\alpha = 0$

или же только уменьшаютъ и x_h и M_z по сравненію съ обыкновеннымъ паровозомъ.

Въ силу этого, во всякомъ случаѣ, "уравновѣшенные паровозы", т.е. у которыхъуравновѣшеніе силъ инерціи возвратно - движущихся массъ происходитъ не при помощи вращающагося противовѣса (т.к. $\alpha = 0$), а въ самой машинѣ являются весьма желательными для примѣненія при очень большихъ скоростяхъ движенія. Въ западной Европѣ всѣ дороги, по примѣру французскихъ ж.д., впервые примѣнившихъ конструкцію де-Глена, вводятъ для тяги курьерскихъ поѣздовъ "уравновѣшенные паровозы". Имѣются они и на русскихъ ж.д. (типъ 2-3-0 Рязано-Уральской ж.д. Путиловскаго завода).

---

x) См. болѣе подробно

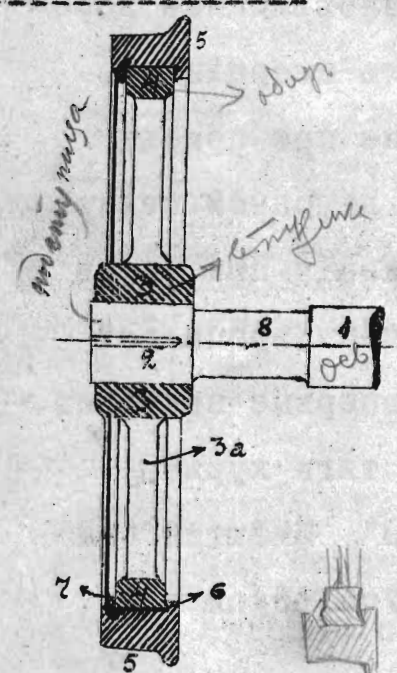
В.В. Ефремовскій, Общій разсчетъ паровоза, 1912, стр. 81.

Глава У. УСТРОЙСТВО ЭКИПАЖА И ВПИСЫВАНІЕ ЕГО ВЪ КРИВЫЯ

§ 32. Устройство экипажа.

Экипажъ паровоза состоитъ изъ рамъ, представляющихъ два продольныхъ листа, соединенныхъ въ нѣсколькихъ мѣстахъ для жесткости системы поперечными крѣпленіями и собственно ходовой части, т.е. колесныхъ скатовъ съ буксами. Между рамами и скатами, на которые передается вѣсъ рамъ и частей укрѣпленныхъ къ нимъ, вводится рессорное подвѣшеніе, схема котораго и дѣйствіе описаны в[illegible] 28.

Колесный скатъ устроенъ слѣдующимъ образомъ (фиг.54):



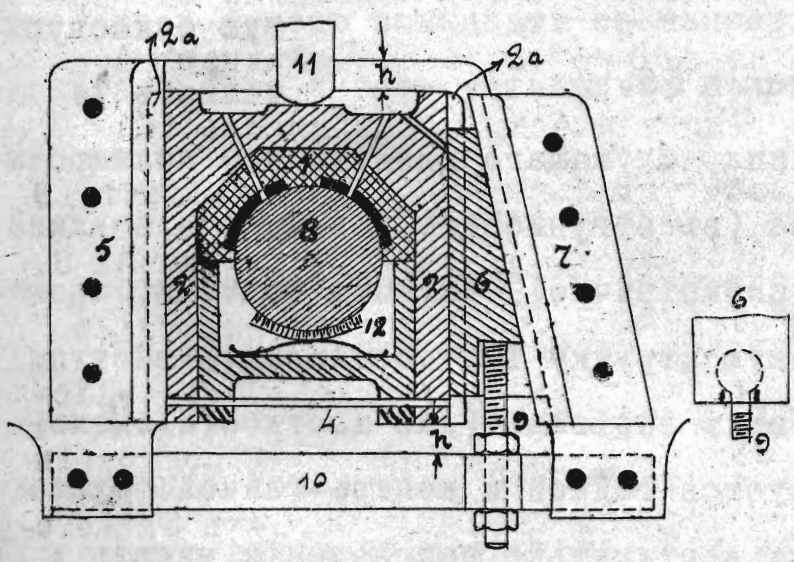
фиг. 54.

На стальную ось I, именно на подступичную часть 2 насаживается гидравлическимъ давленіемъ (60-80 atm) стальной литой колесный центръ 3 состоящій изъ втулки (ступицы) 3, обода 4 и спицъ 3_a, соединяющихъ ободъ со ступицей. На ободъ колеснаго центра въ нагрѣтомъ состояніи одѣвается стальной бандажъ 5, который удерживается въ поперечномъ направленіи выступомъ 6 и желѣзнымъ кольцомъ 7 профиля въ видѣ ласточкина хвоста. У ведущихъ и сцѣпныхъ колесъ кривошипъ отливается за одно цѣлое съ колеснымъ центромъ и палецъ его впресовывается гидравлическимъ пресомъ.

Противовѣсы (б. частью въ формѣ сегмента или серповидные) отливаются также за одно цѣлое съ колеснымъ центромъ, причемъ часто (въ товарн. паровозахъ съ малымъ діаметромъ колесъ) для увеличенія вѣса при томъ же объемѣ дѣлаются полыми, а внутренность заливается свинцомъ (удѣльный вѣсъ около 11, вмѣсто 7,8 для стали).

Шейка оси 8 помѣщается въ подшипникѣ или буксѣ.

Букса. Ввиду того, что букса передаетъ главнымъ образомъ вертикальныя силы (вѣсъ) и лишь отчасти горизонтальныя (сила по натуну у сцѣпныхъ и ведущихъ осей) можно почти всегда[x] ограничиться лишь верхнимъ вкладышемъ. Разрѣзъ буксы горизонтальной плоскостью, показанъ на фиг. 55



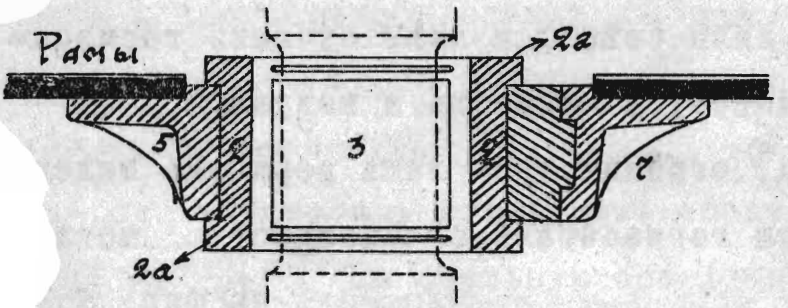
фиг. 55.

Бронзовый съ заливкой бѣлымъ металомъ вкладышъ I вставленъ въ буксу 2 изъ литой стали, въ которой сверху имѣется углубленіе для смазки и возвышеніе, въ которое упи-

---

x) Въ паровозахъ съ очень большими цилиндрами дѣлаются буксы съ боковыми вкладышами для воспринятія горизонтальныхъ силъ, системы проф. Обергетмана (Obergethmann).

рается рессорный шпинтонъ (стержень) II. Снизу къ той же буксѣ 2 укрѣпляется чугунная коробка 3 помощью болта 4, въ которую стекаетъ смазка и гдѣ помѣщена смазочная щетка I2 съ нажимной пружиной. Букса 2 имѣетъ закраины 2а, которыя обхватываютъ съ одной стороны буксовую челюсть 5 (изъ стали), укрѣпленную къ рамѣ на краю буксового вырѣза. Съ другой стороны букса 2 охватываетъ (фиг.56) клинъ 6, который своимъ выступомъ входитъ въ другую буксовую челюсть 7.



фиг. 56.

Для перемѣщенія клина, служащаго для точнаго монтированія машины паровоза (въ бѣгунковыхъ подшипникахъ клина нѣтъ и устройство симметрично), служитъ болтъ 9, проходящій сквозь буксовую струнку I0, соединяющую выступы рамъ внизу у буксовыхъ вырѣзовъ (для жесткости). Положеніе клина фиксируется гайкой и контръ-гайкой. Букса можетъ перемѣщаться вертикально направленіи вверхъ и внизъ на величину h (фиг. 55).

§ 33. О вписываніи экипажа въ кривую.

Вписываніе экипажа при входѣ его на криволинейный участокъ можетъ быть статическимъ (или геометрическимъ) и динамическимъ. Послѣднее наступаетъ въ томъ случаѣ,

если скорость движенія велика и превышеніе наружнаго рельса надъ внутреннимъ не уничтожаетъ центробѣжной силы экипажа. При этомъ экипажъ стремится занять возможно болѣе внѣшнее положеніе въ кривой. Такое вписываніе болѣе благопріятно въ конструктивномъ (для экипажа) смыслѣ, а потому всегда должно разсматриваться вписываніе геометрическое, т.е. такое, какое будетъ происходить при уничтоженіи вліянія центробѣжной силы экипажа. Сила сопротивленія поѣзда на задней упряжи паровоза содѣйствуетъ также статическому вписыванію.

Если черезъ кривую будемъ двигать лишь одинъ колесный скатъ, то онъ будетъ занимать радіальное положеніе, т.е ось ската будетъ совпадать съ направленіемъ радіуса кривизны. Это и есть устойчивое положеніе ската при прохожденіи кривой.

Если мы имѣемъ многосный экипажъ, то стремленіе осей къ радіальности при условіи обычнаго устройства буксъ (фиг.55-56), вообще не можетъ получить удовлетворенія, кромѣ только задняго ската, который и стремится занять радіальное положеніе. Это и есть основаніе для геометрическаго вписыванія экипажа. При вписываніи экипажа возможны три случая:

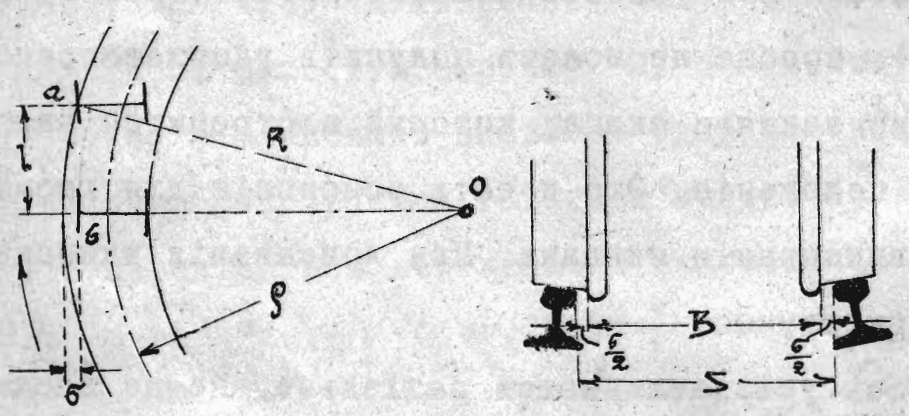
а) Задняя ось устанавливается радіально, но не касается внутренняго рельса своимъ гребнемъ бандажа. Добавочное сопротивленіе отъ прохожденія кривой опредѣляется по переднему скату, набѣгающему на внѣшній рельсъ.

б) Задняя ось устанавливается радіальне какъ разъ въ

тотъ моментъ, когда реборда колеса касается внутренняго рельса. Случай этотъ есть наивыгоднѣйшій для экипажа, такъ какъ сопротивленіе движенію не возрастаетъ еще, а база длиннѣе, чѣмъ въ первомъ случаѣ, а слѣдовательно больше и грузоподъемность экипажа.

c) Задняя ось не достигаетъ радіальнаго положенія, а набѣгаетъ ребордой на внутренній рельсъ закругленія и оказываетъ на него давленіе, вслѣдствіи чего повышается сопротивленіе движенію экипажа въ кривой. Случай невыгодный, для вагоновъ недопустимый, встрѣчается однако часто въ многососныхъ паровозахъ. Такое движеніе въ кривой называется "заклинивающимся".

§ 34. Наивыгоднѣйшая база двухосныхъ экипажей опредѣляется на основаніи сказаннаго въ § 33. Такъ какъ въ среднемъ положеніи ската на колеѣ всегда имѣется зазоръ между гребнями и рельсомъ (фиг.57) равный суммѣ $\delta = 10 \div 25$ m/m то очевидно что въ моментъ, когда задняя ось экипажа установится радіально и коснется внутренняго рельса, весь зазоръ δ будетъ исчерпанъ. Если мы назовемъ радіусъ внѣшняго рельса R и базу экипажа l, то изъ $\Delta\, abO$ можемъ опредѣлить



фиг. 57.

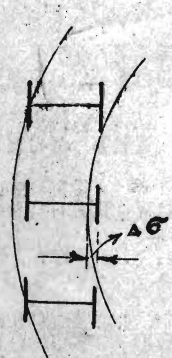
$$l = \sqrt{R^2-(R-\delta)^2} = \sqrt{2R\delta-\delta^2}.$$

Такъ какъ δ^2 невелико сравнительно съ $2R\delta$, то можно написать $l=\sqrt{2R\delta}$, или принимая во вниманіе также весьма малую разницу между R и радіусомъ закругленія оси пути ρ можно приближенно найти базу l по формулѣ $l=\sqrt{2\rho\delta}$.

Такъ какъ на кривыхъ частяхъ пути δ увеличивается помощью уширенія пути, то при разсчетахъ l слѣдуетъ принимать въ разсчетъ $\delta = 30\,{}^{m}/_{m}$, которое соотвѣтствуетъ нормальному зазору въ $10\,{}^{m}/_{m}$ и уширенію пути въ кривыхъ радіуса меньше 200 сах. на $20\,{}^{m}/_{m}$.

§ 35. Вписываніе многоосныхъ базъ и средства къ облегченію прохода кривыхъ.

При вписываніи многоосныхъ базъ (напр.паровоза) почти всегда получается такая картина, что даже "заклинивающійся ходъ въ кривой невозможенъ, ибо средній скатъ или скаты) сходятъ съ рельсовъ (фиг.58). Въ такихъ случаяхъ необходимо принимать мѣры къ облегченію вписыванія экипажа, которыя распадаются на 2 главныя группы: а) увеличеніе δ путемъ конструкціи экипажа и в) поворотныя оси и тележки.

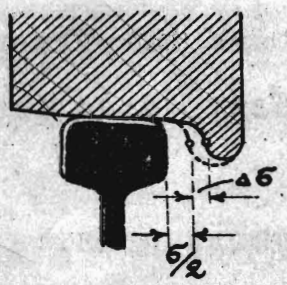


Фиг. 58.

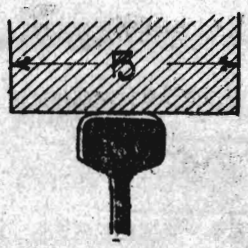
а) Искусственное увеличеніе зазора δ дѣлается слѣдующимъ образомъ:

α) если достаточно увеличить δ на $5-8\,{}^{m}/_{m}$ для возможности вписыванія, то на соот-

вѣтствующей оси (средней на фиг.58) ослабляютъ гребни бандажей на величину $\Delta б$ (фиг. 59).



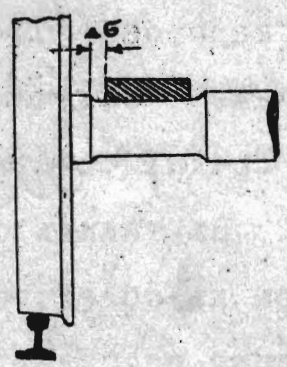
фиг. 59.



фиг. 60.

β) При бо́льшихъ значеніяхъ $\Delta б$ (напр. 10-15 m/m) бандажъ совершенно лишаютъ гребня, но для безопасности движенія ширину бандажа нѣсколько увеличиваютъ противъ нормы (фиг. 60);[x] такъ сдѣлано напр. на нашихъ нормальныхъ паровозахъ типа 4/4.

γ) Можно путемъ соотвѣтственнаго устройства оси и буксъ (фиг. 61) (напр. удлиненіе шейки) ~~напр.~~ сдѣлать ось поперечно передвижной на величину $\Delta б$ въ каждую сторону. Въ этомъ случаѣ возможно довести $\Delta б$ до 30-35 m/m Гребни остаются нормальными.



фиг. 61.

b) Поворотныя телѣжки и оси.

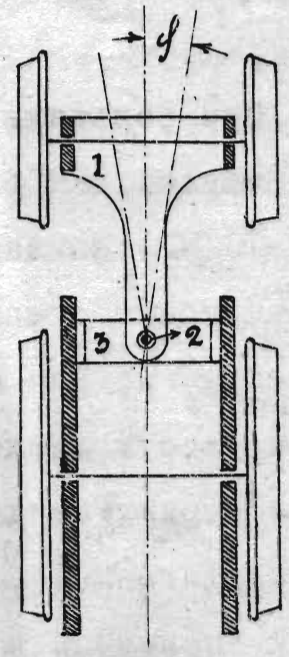
Если нѣкоторыя оси паровоза служатъ какъ поддерживающія, то имъ можно придать возможность поворота относительно оси паровоза.

α) Одноосная телѣжка (Bissel).

Бѣгунокъ получаетъ особыя рамы I съ возжей, которая можетъ поворачиваться около шкворня 2 на поперечномъ

---

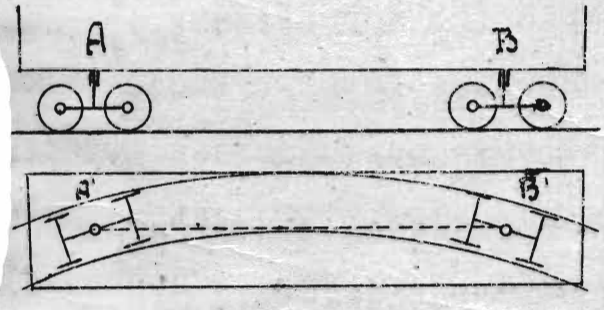
x) 150 m/m вмѣсто нормальныхъ 137 m/m. Наименьшая толщина гребня 22 m/m (норм. 37 m/m). Наименьшая толщина бандажа 30 m/m (норм. 40 m/m).



Фиг. 62.

крѣпленіи 3 главныхъ рамъ. При входѣ въ кривую бѣгунокъ отклоняется отъ оси паровоза на уголъ φ, жесткая же база этимъ уменьшается. Такія же оси, но безъ возжи, которая замѣняется дѣйствіемъ криволинейно очерченныхъ буксовыхъ направляющихъ буксъ бѣгунка въ главныхъ рамахъ, называются радіальными бѣгунками. Телѣжки Бисселя могутъ быть и многосными, напр. таково устройство экипажа въ такъ называемыхъ паровозахъ "дуплексъ-компаундъ"

β) Двухосныя телѣжки безъ бокового перемѣщенія примѣняются почти исключительно къ вагонамъ и тендерамъ на 2-хъ телѣжкахъ. Каждыя 2оси образуютъ особый экипажъ, вращающійся около шкворней A и B на рамахъ главнаго экипажа. Каждая телѣжка легко вписывается въ кривую, причемъ ось экипажа занимаетъ въ кривой положеніе A'B'. Кузовъ вагона при этомъ сильно выходитъ изъ габарита, какъ видно на планѣ черт. 63.



Фиг. 63.

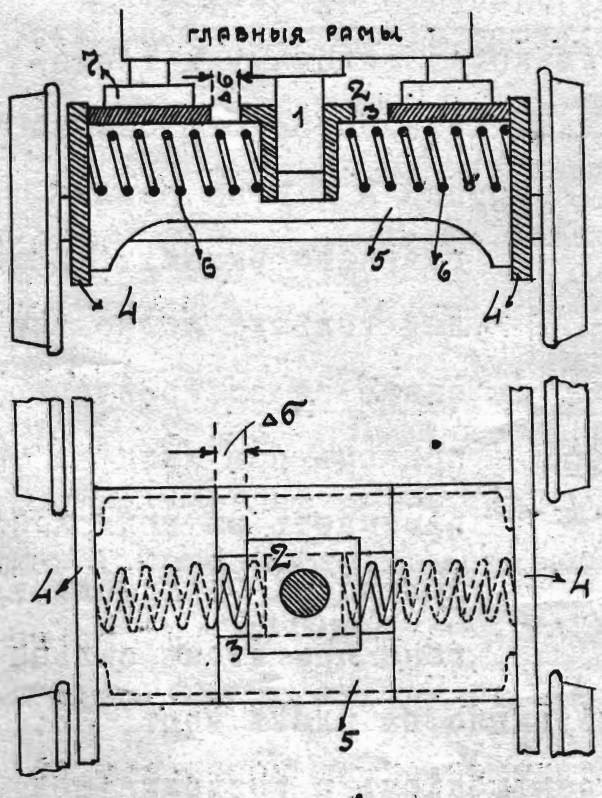
γ) Телѣжки съ боковымъ перемѣщеніемъ и возвращающей силой примѣняются къ паровозамъ. Телѣжка не только можетъ поворачиваться около шкворня, но и своей срединой

отходитъ въ сторону отъ шкворня, причемъ при этомъ реоедвиженіи возникаетъ сила, стремящаяся тележку привести въ среднее положеніе; въ кривой экипажъ занимаетъ схематически положеніе, изображенное на фиг.64,



фиг. 64.

устройство же (примѣрное) изображено на фиг. 64а въ поперечномъ разрѣзѣ и планѣ. Шкворень (I) укрѣпленъ на на главныхъ рамахъ; онъ входитъ въ стаканъ (2) (въ формѣ параллелопипеда), движущійся въ вырѣзѣ (3 поперечнаго крѣпленія (5) рамъ телѣжки (4).



фиг. 64а.

Если при входѣ на кривую телѣжка срединою своей (средняя линія для рамъ телѣжки) отклоняется отъ шкворни на величину $\Delta б$ (боковое перемѣщеніе), то боковыя пружины, заложенныя между рамами телѣжки и подпятникомъ шкворня, измѣняютъ натяженіе:

Roy, который основанъ на слѣдующей теоремѣ:

Теорема Roy. Если кривая будетъ вычерчена радіусомъ въ масштабѣ $1/n^2$, а базу экипажа вычертить въ кривой въ масштабѣ $1/n$, то поперечные элементы вписыванія (δ) получится въ натуральную величину, а угловыя величины въ n разъ больше натуры.

Дѣйствительно изъ § 35 имѣемъ, что $\delta = \frac{l^2}{2R}$. Если же мы на діаграммѣ Roy вмѣсто l возьмемъ $l_1 = l/n$, а вмѣсто R возьмемъ $R_1 = R/n^2$, то на чертежѣ получится

$$\delta_1 = \frac{l_1^2}{2R_1} = \frac{(l/n)^2}{2R/n^2} = \frac{l^2}{2R} = \delta,$$

т.е. зазоры δ получатся въ натуральную величину. Далѣе, полагая, что $l = R\alpha$, гдѣ α центральный уголъ для нашей бази l, аналогично будемъ имѣть на чертежѣ $l_1 = R_1\alpha_1$. Изъ перваго выраженія имѣемъ $\alpha = \frac{l}{R}$, а изъ втораго

$$\alpha_1 = \frac{l_1}{R_1} = \frac{l/n}{R/n^2} = n\frac{l}{R} = n\alpha.$$

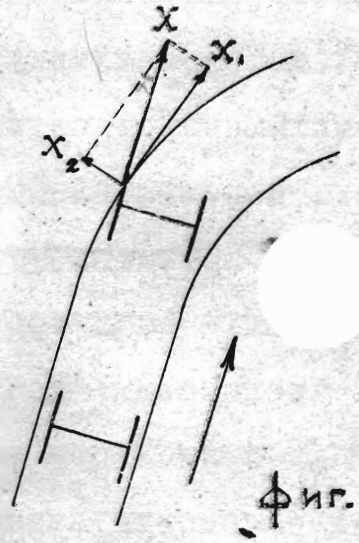
Т.е. угловыя величины на діаграммѣ Roy получаются въ n разъ больше натуры.

Обычно для радіуса кривой $R = 200$ mt. выбираютъ масштабъ $n = 10$ и чертятъ діаграмму въ $\frac{1}{2}$ н.в., тогда діаграмма свободно помѣщается на листѣ ватманской бумаги. Междугребенное пространство B полагаютъ равнымъ 0, тогда ширину колеи надо брать только $\delta + \varepsilon$, гдѣ ε уширеніе въ кривой. $\delta + \varepsilon$ принимаютъ обычно $= 30$ m/m ($\delta = 10$ m/m, $\varepsilon = 20$ m/m.). При условіи, что B (черт. 57) $= 0$ экипажъ паровоза выражается линіей, а скаты точками на этой линіи

Подробности пользованія способомъ Roy съ примѣромъ діаграммы для паровоза типа 2-3-1 см. въ книжкѣ: В.В Ѳормаковскій, Общій разсчетъ паровоза, 1912, стр 87-89.

§ 37. О давленіи колеса на внѣшній рельсъ въ кривыхъ.

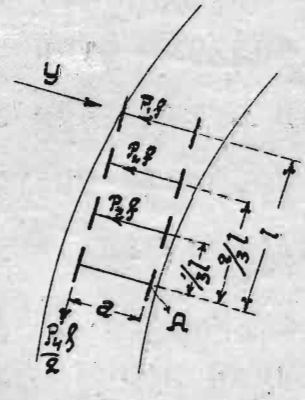
Когда экипажъ входитъ съ прямой на кривую, то переднее колесо набѣгаетъ на внѣшній рельсъ кривой и производитъ на него давленіе (ударъ) X. Это давленіе Фиг.66 можетъ быть разложено на двѣ составляющихъ. Одна сила X_1 дѣйствуетъ по касательной къ кривой и производитъ угонъ рельса, сила же X_2, нормальная къ кривой въ точкѣ касанія, старается опрокинуть рельсъ во внѣшнюю сторону (расшиваніе пути). При этомъ мы считаемъ, что центробѣжная сила паровоза уравновѣшена вполнѣ превышеніемъ внѣшняго рельса надъ внутреннимъ. Величина силы X_2 есть $X_2 = X \sin\alpha$, гдѣ α уголъ набѣганія колеса на рельсъ. Чѣмъ кривая круче, тѣмъ α и вмѣстѣ съ тѣмъ X_2 будутъ больше. Величина угла α опредѣляется кромѣ радіуса кривой еще длиной базы и положеніемъ задней оси экипажа. Если послѣдняя устанавливается въ кривой радіально, то $\sin\alpha = \frac{l}{R}$, если же происходитъ заклинивающееся движеніе, то безъ большой



Фиг. 66.

ошибки можно считать $\sin\alpha = \frac{l}{2R} + \frac{\delta}{l}$. Величина силы бокового удара X_2 при входѣ на кривую можетъ быть очевидно уменьшена помощью увеличенія радіуса кривой R. Поэтому, какъ правило, прямой участокъ пути ($R=\infty$) съ кривою радіуса R сопрягается не непосредственно съ помощью постепеннаго уменьшенія R отъ ∞ до R (уменьшеніе идетъ обычно ступенями). Этимъ мы предотвращаемъ сильный ударъ колеса во внѣшній рельсъ при входѣ на кривую.

Дальнѣйшее прохожденіе кривой сопровождается значительнымъ давленіемъ на внѣшній рельсъ (а при заклинивающемся ходѣ и на внутренній), ибо внѣшній рельсъ служитъ направляющей, которая и производитъ перемѣщеніе подвижного состава въ направленіи къ центру кривизны, для чего необходимо преодолѣвать возникающія силы тренія.



фиг. 67

Если (фиг.67) представимъ себѣ 4-хосный экипажъ въ кривой при условіи радіальной установки задней оси, то оказывается, что онъ при проходѣ кривой будетъ поворачиваться около точки А (средина праваго колеса задняго ската) подъ воздѣйствіемъ момента Yl, а противодѣйствовать будутъ моменты силъ тренія колесъ о рельсы: первой оси $P_1 f l$ x), второй оси $2P_2 f \frac{2}{3} l$, третей оси

---

x) Только для праваго колеса

$2\mathcal{P}_3 f \frac{1}{3} l$ и четвертой оси $\mathcal{P}_4 f a$ [x], гдѣ обозначено:

l – база экипажа

$\mathcal{P}$ – нагрузка отдѣльнаго колеса

f – коэффиціентъ тренія

a – разстояніе между срединами бандажей одного ската,

Тогда полагая, что $\mathcal{P}_1 = \mathcal{P}_2 = \mathcal{P}_3 \ldots\ldots$ и что частичныя базы равны между собою, получимъ

$$Yl = \mathcal{P}f\left(l + 2\cdot\frac{2}{3}l + 2\cdot\frac{1}{3}l + a\right),$$ откуда

давленіе отъ передняго колеса на внѣшній рельсъ

$$Y = \mathcal{P}f\left(3 + \frac{a}{l}\right),$$ напр. при $f = 0{,}3$, $\mathcal{P} = 8\,t_n$., $a \cong 1{,}5\,m$. $l = 4{,}5$ получаемъ $Y_4 = 7920$ kg.

Вообще, если имѣемъ экипажъ изъ n осей, то при условіи радіальной установки задней оси и при жесткой базѣ l получимъ

$$Y_n = \mathcal{P}f\left[(n-1) + \frac{a}{l}\right].$$

При нерадіальной установкѣ задней оси задача рѣшается аналогично, но сперва надо найти положеніе оси вращенія паровоза (способъ Ueberlacker'a, Organ 1903).

Должно имѣть въ виду, что давленіе Y можетъ быть еще (въ дѣйствительности) увеличено слѣдующими величинами:

I) Вліяніемъ центробѣжной силы при большихъ скоростяхъ движенія, когда центробѣжная сила не уничтожается вполнѣ превышеніемъ внѣшняго рельса надъ внутреннимъ, именно величиною

$$Y' = \frac{\mathcal{P}}{g}\cdot\frac{v^2}{R} - \mathcal{P}\frac{h}{s} = \mathcal{P}\left[\frac{v^2}{gR} - \frac{h}{s}\right]$$

---

x) Только для лѣваго колеса.

гдѣ обозначено:

P_1 - нагрузка перваго ската (двухъ колесъ)

g - ускореніе силы тяжести 9,81 m/s^2

R - радіусъ кривой

h - возвышеніе внѣшняго рельса надъ внутреннимъ

S - ширина колеи

v - скорость движенія въ m/s

и 2) Величиною добавочнаго давленія y'' отъ дѣйствія неуравновѣшенныхъ силъ инерціи возвратно - движущихся массъ Величина y'' гориз. реакц. рельса выведена въ § 30

Тутъ же должно указать, что присутствіе спереди оси или телѣжки) съ боковымъ перемѣщеніемъ и возвращающей силой значительно уменьшаетъ давленіе на рельсъ, ибо тогда давленіе первой оси будетъ на кривой складывается изъ величины возвращающей силы плюсъ вліяніе центробѣжной силы; давленіе же первой оси жесткой базы на внѣшній рельсъ тоже уменьшается, ибо уменьшается число осей жесткой базы n (на одну или двѣ). Поэтому присутствіе оси съ боковымъ перемѣщеніемъ важно не только въ смыслѣ облегченія вписыванія, но и въ смыслѣ уменьшенія силъ дѣйствующихъ на внѣшній рельсъ кривой.

Часть II.

ТЕНДЕРА И ВАГОНЫ. МАСТЕРСКІЯ.

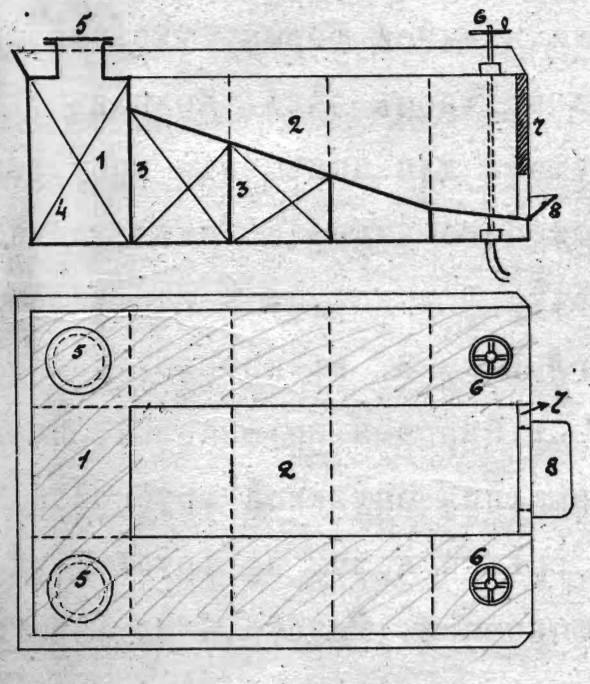
Часть II.

ТЕНДЕРА И ВАГОНЫ: МАСТЕРСКІЯ.

§ I. Тендеръ x)

Тендеромъ называется экипажъ, непосредственно слѣдующій за паровозомъ, предназначенный для перевозки запасовъ топлива и воды. Тендера по своему устройству различаются въ зависимости отъ рода отопленія паровоза и отъ устройства ихъ экипажа.

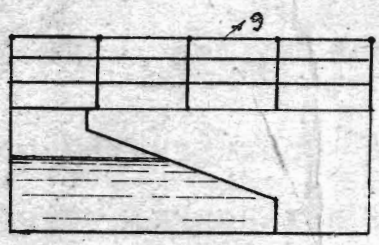
Устройство водяного бака, объемъ котораго въ зависимости отъ мощности паровозовъ и наибольшей длины перегона, проходимаго поѣздомъ безъ остановки, колеблется отъ 15-35 кб. метровъ, обыкновено слѣдующее (фиг. 68). Клепанный желѣзный резервуаръ I выполняется въ планѣ въ видѣ буквы П. Помѣщеніе 2 внутри контура водяного бака служитъ для помѣщенія твердаго топлива (уголь, брикетъ дрова). Бакъ снабжается поперечными стѣнками 3, предотвращающими разрушительное дѣйствіе массъ воды при измѣненіи скорости движенія. Внизу стѣнокъ 3 устраи-



Фиг. 68.

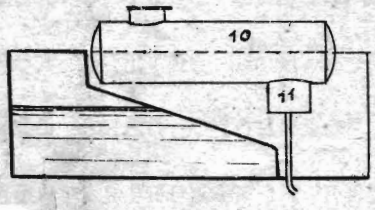
x) см. слѣд. стр.

ваются отверстія для прохода воды. Кромѣ того стѣнки укрѣпляются діагоналями 4 и уголками жесткости. Отверстія 5, закрываемыя крышкой служатъ для наполненія тендера водой. Клапаны 6 разъединяютъ тендеръ отъ водопровода къ инжекторамъ паровоза Помѣщеніе для топлива отдѣляется спереди досчатой стѣнкой 7 съ вырѣзомъ и лоткомъ 8, съ котораго беретъ топливо кочегаръ лопатою. При дровяномъ отопленіи стѣнка 7 не дѣлается, а борта тендера снабжаются деревянной обрѣшеткой 9 для возможности увеличенія запаса дровъ(фиг. 69) При нефтяномъ отопленіи запасы топлива помѣщаются въ особомъ бакѣ



фиг. 69.

10, (фиг.70), цилиндрической или ящичной формы, укрѣпляемомъ на водяномъ бакѣ. Колпакъ 11 служитъ для помѣщенія прогрѣвателя нефти, устройство котораго видно на слѣд. эскизѣ (фиг 71). Нефть черезъ сѣтку 1 и конусъ 2 поступаетъ въ горѣлку 3, въ которой расположенъ паровой змѣевикъ 4, заканчивающійся спускной трубкой 5; изъ грѣлки нефть по трубѣ 7 идетъ къ форсункѣ. Трубка 6 служитъ для удаленія изъ нефтяного бака воды, которая по причинѣ большаго удѣльнаго вѣса собирается

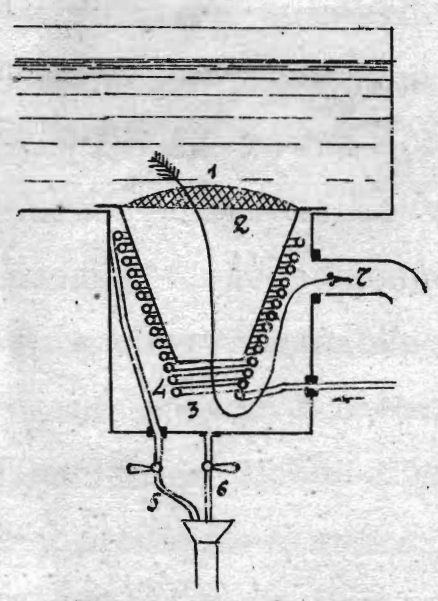


фиг.70.

---

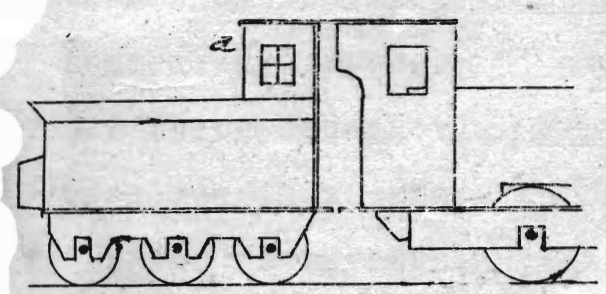
x) Детально см Современная техника ж. д. дѣла Томъ I. Паровозы С.П Б. 1900.

внизу грѣлки 3: Для защиты паровозной бригады отъ погоды на тендерѣ часто устраивается контрбудка "а" (большею частью деревянная) (фиг. 72).



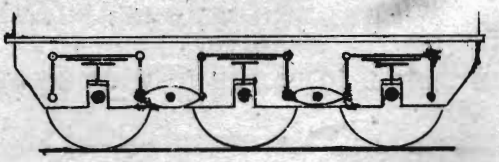
фиг. 71.

Экипажная часть тендера бываетъ или трехосная или четырехосная. Первая состоитъ изъ продольныхъ рамъ (фиг. 73), на которыхъ укрѣпляется водяной бакъ съ вырѣзомъ для буксъ вагоннаго типа Рессорное подвѣшеніе дѣлается или съ независимыми рессорами или же рессоры послѣдней и предпослѣдней осей соединяются продольными балансирами для выравниванія нагрузки на оси. Трехосные тендера нашихъ ж д. имѣютъ емкость водянаго бака до 16 tn, запасы топлива до 6-7 tn и вѣсятъ въ рабочемъ состояніи отъ 35-40 тоннъ. При большихъ бакахъ экипажъ дѣлается 4-х осным



фиг. 72.

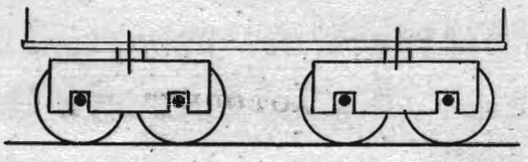
ъ на двухъ поворотныхъ телѣжкахъ безъ бокового перемѣщенія (фиг. 74). Наши 4-х осные тендера имѣютъ емкость баковъ около 20-25 tn., запасы угля



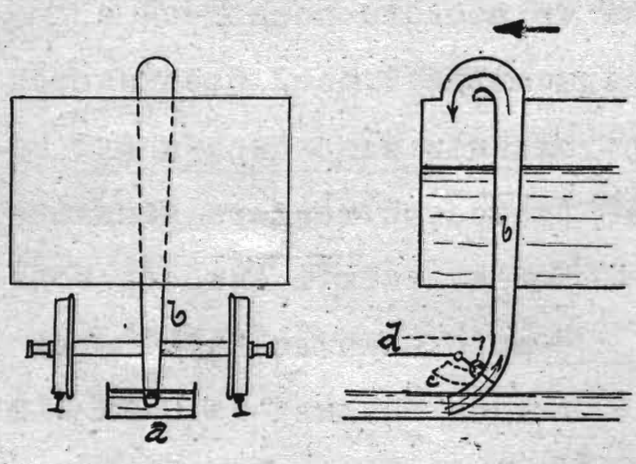
фиг. 73.

до 8-10 tn и вѣсятъ въ рабочемъ состояніи до 50-55 tn x)

Оригинально приспособленіе Рамсботтома для наполненія тендера водою безъ остановки паровоза, употребляемое въ Англіи и Америкѣ (фиг.75). На станціи между рельсовъ укладывается канавка "а" (400-500 m. длины) наполняемая водой изъ станціонаго водопровода. Тендерный бакъ снабженъ трубою в съ раструбомъ С, который помощью привода d можетъ быть опущенъ въ питательную канавку "а". Наборъ воды производится такимъ образомъ за счетъ живой силы поѣзда на полномъ ходу его.



фиг.74



фиг.75

Обыкновенно каждый паровозъ имѣетъ свой тендеръ, но на нѣкоторыхъ ж.д. ведется хозяйство со смѣнными тендерами, т.е. тендеровъ имѣется меньше, чѣмъ паровозовъ, что возможно, т.к. тендера находятся въ ремонтѣ рѣже и меньшее время, чѣмъ паровозы. Такимъ путемъ могутъ быть сдѣланы сбереженія при обзаведеніи тендерами

---

x)О разсчетѣ емкости водяныхъ баковъ тендера см. В.Ф.Дрмаховскій. Общій разсчетъ паровоза и тендера 1910.

и на ремонтѣ ихъ. Необходимое количество тендеровъ по принятымъ на Саксонскихъ ж.д. нормамъ должно составлять около 90% количества паровозовъ. Кромѣ того всѣ тендера должны быть одинаковы по устройству и подходить ко всѣмъ паровозамъ (устройство сцѣпки и водопроводовъ).

§ 2. Пассажирскіе вагоны.*)

Пассажирскіе вагоны въ зависимости отъ предоставляемыхъ пассажирамъ удобствъ, площади пола и объема вагона приходящагося на I пассажира раздѣляются у насъ на 4 класса. По послѣднимъ даннымъ**) Прусскихъ ж.д. вѣсъ вагоновъ на I пассажира достигаетъ

I кл.	II кл.	IIIкл.
1100 kg	1100 kg	590 kg

Тара нашихъ вагоновъ (4-хъ осныхъ) IIIкл. около 2000пуд. и I-IIкл. около 2400 пуд., что даетъ на I спальн. мѣсто въ I-IIкл. около 1600 kg и въ IIIкл. до 670 kg.

Кромѣ обычныхъ классныхъ вагоновъ ж.д. должны располагать еще въ извѣстныхъ случаяхъ спальными вагонами, вагонами - столовыми, салонами и вагонами врачебной службы съ помѣщеніемъ для раненныхъ при несчастіяхъ и съ операціонной для немедленнаго оказанія хирургичес-

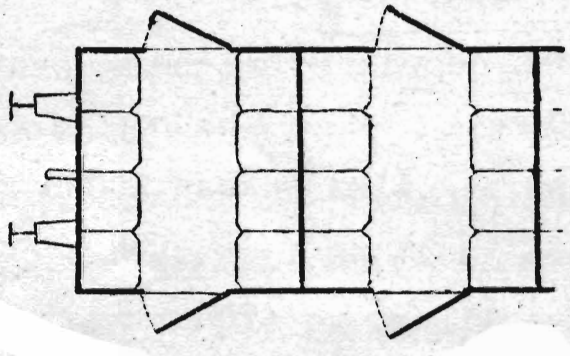
---

*)Детально о вагонахъ вообще см. Современная техника ж.д. дѣла томъ II, Вагоны и т.д. СПВ. 1903.

**) Z. d. V. d. Ing. 1910 S. 1928.

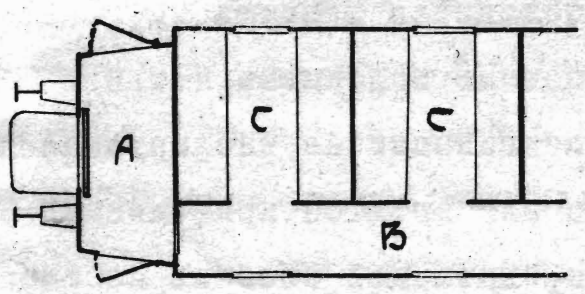
кой помощи. Въ нашихъ Сибирскихъ экспрессахъ, ввиду продолжительности пробѣга, имѣются еще читальня и библіотека, ванная и комнатная гимнастика. На малонаселенныхъ дорогахъ имѣются еще вагоны - церкви для удовлетворенія религіозныхъ потребностей служащихъ на глухихъ станціяхъ. Въ конструктивномъ отношеніи пассажирскіе вагоны отличаются I) устройствомъ кузова, 2) устройствомъ экипажа.

Устройство кузова вагона бываетъ обыкновенно двухъ типовъ: вагоны непроходные съ боковыми выходами и проходные вагоны съ тамбурами и площадками. Первый типъ (фиг.76) пригоденъ для пригороднаго и городского сообщенія, такъ какъ при напливѣ публики даетъ возможность быстраго выхода и входа пассажировъ. Главныя неудобства этого типа вагоновъ: быстрое охлажденіе внутренности вагона въ зимнее время и трудность обслуживанія вагоновъ поѣздной прислугой. Въ Россіи этотъ типъ вагоновъ совершенно не принятъ. Другой типъ пассажирскихъ вагоновъ - принятый и у насъ - проходные вагоны (фиг.77). Выходы изъ вагона расположены въ площадкахъ А на концахъ вагона. Съ площадки черезъ проемъ, закрываемый дверью, пассажиръ попадаетъ во внутренность вагона. Лучшіе вагоны имѣютъ боковой корридоръ В и отдѣльныя



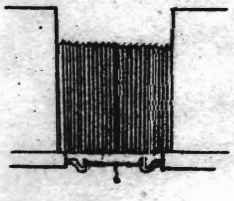
фиг.76

*) Есть несколько вагон. /старых/ на линии СПБ-Оренбург Сиб.ж.д.



фиг.77

куна С. Достоинствомъ такого типа вагоновъ является сохраненіе теплоты зимою, удобство обслуживанія, возможность включенія въ составъ поѣзда вагона - столовой. Въ поелѣднемъ случаѣ рекомендуется во избѣжаніе несчастій и простуды пассажировъ соединять вагоны другъ съ другомъ кожанными мѣхами -" гармоніей."(фиг.78). Неудобствомъ проходныхъ вагоновъ является стѣсненный входъ и выходъ изъ вагона.



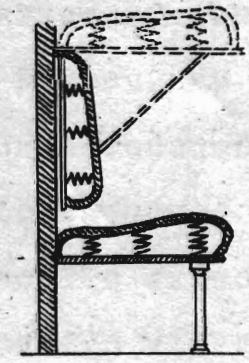
фиг.78

Устройство кузова.

Кузовъ вагона состоитъ изъ деревяннаго дубоваго каркаса - такъ называемой обрѣшетки вагона, который обшивается досками. Соединеніе брусьевъ производится помощью врубокъ и желѣзныхъ крѣпленій. Конструкція боковыхъ стѣнокъ дѣлается въ видѣ раскосной фермы для приданія стѣнкамъ жесткости (фиг.79)*). Въ Америкѣ и Англіи примѣняется иногда металическій каркасъ для вагоновъ. Внутренняя обшивка дѣлается изъ сосновыхъ досокъ и въ вагонахъ высшихъ классовъ покрывается клеенкой или лучше пегамоидомъ или линкрустой (искусств. кожа). Въ вагонахъ III и IV кл.досчатая обшивка окрашивается краской. Снаружи каркасъ обшивается желѣзомъ, которое шпаклюется, красится и лакируется. Промежутокъ между наружной и

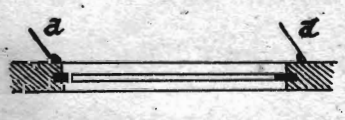
фиг 79 и 80 см. стр. 140

внутренней обшивкой заполняется плохими проводниками тепла: войлокомъ, кокосовымъ волокномъ и т.п.. Полъ и потолокъ дѣлаются также двойными съ изолирующей прокладкой. Крыши вагоновъ или кроются кровельнымъ желѣзомъ или обтягиваются пропитанной особымъ составомъ парусиной. Сидѣнья должны быть сдѣланы формы удобной для продолжительнаго пребыванія въ поѣздѣ. Въ поѣздахъ, обращающихся ночью необходимо устраивать приспособленія для лежанія. Обычный типъ нашихъ спальныхъ мѣстъ - поднимающіеся спинки-сидѣній. Въ поднятомъ видѣ онѣ укрѣпляются или кронштейнами или боковыми задвижками (фиг.81). При такомъ устройствѣ сидѣній сѣтки полки для ручной клади приходится уменьшать и помѣщать довольно высоко. Удобства. Всѣ вагоны должны снабжаться ватеръ-клозетами (лучше 2-мя) и умывальными. Значительно лучше, какъ въ видахъ удобства ѣдущихъ, такъ и въ чисто гигіеническихъ цѣляхъ помѣщать ватеръ-клозеты отдѣльно отъ уборныхъ. Окна устраиваются двойными



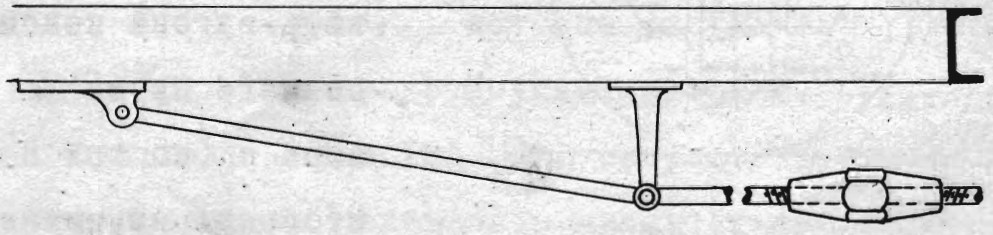
фиг. 81.

(для зимняго времени) и опускными или подъемными. Около оконъ рекомендуется дѣлать поворотные напыльники "а" (фиг.82) изъ зеркальнаго стекла (въ высшихъ классахъ) или желѣза (въ III кл.) для предохраненія отъ пыли и залетанія искръ отъ паровоза. Двери въ купе слѣдуетъ для сохраненія мѣста дѣлать



фиг. 82

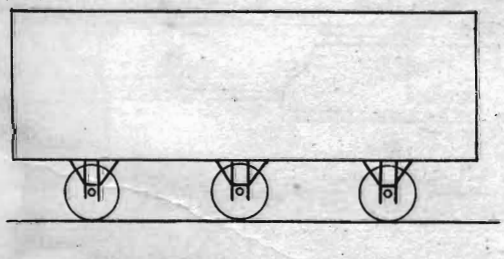
задвижными и снабжать внутренними цѣпочками или запорами. Рамы вагоновъ обычно дѣлаютъ изъ швелернаго желѣза] и снабжаютъ для большей жесткости шпренгелемъ, т.е. системой изъ двухъ стоекъ, затяжки и двухъ подкосовъ (фиг.83). Рамы трехосныхъ вагоновъ, какъ болѣе легкихъ



фиг.83

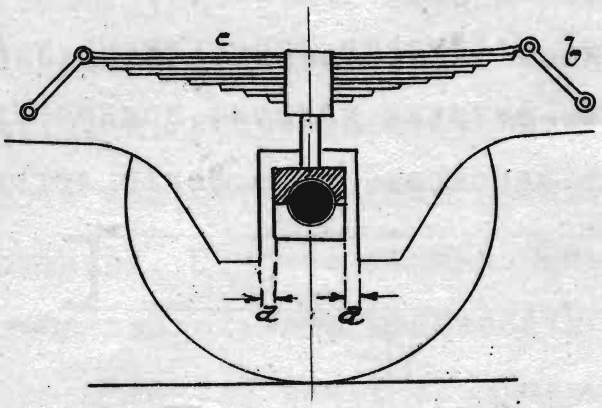
состоятъ только изъ швелерныхъ балокъ. Швелера рамъ соединяются поперечинами и діагональными связями въ одну общую систему.

Экипажъ 2-х и 3-х осныхъ пассажирскихъ вагоновъ выполняется изъ свободно устанавливающихся осей, т.е. букса не имѣетъ направляющихъ челюстей, а входитъ въ рамные консоли съ зазоромъ "а" (фиг.84 и 85), который позволяетъ оси при проходѣ кривыхъ занимать положеніе, приближающееся къ радіальному. Измѣняющійся при этомъ наклонъ рессорныхъ серегъ b создаетъ силу, возвращающую ось въ среднее положеніе по проходѣ кривой. Указанный типъ рессорнаго подвѣшенія однако не вполнѣ хорошъ для пассажирскихъ вагоновъ, для которыхъ требуется возможное ослабленіе толчковъ. Въ вагонахъ 4-х и 6 ти ос-

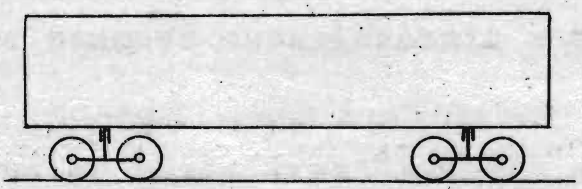


фиг.84

ныхъ на 2-хъ телѣжкахъ (фиг.86) это выполняется гораздо лучше.

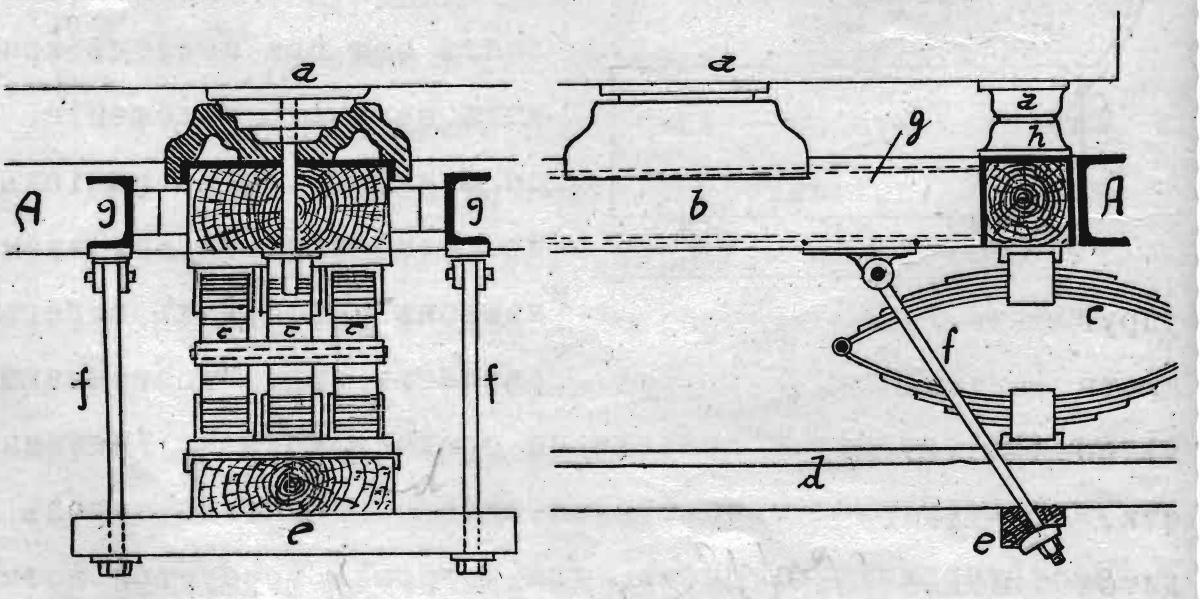


Фиг.85



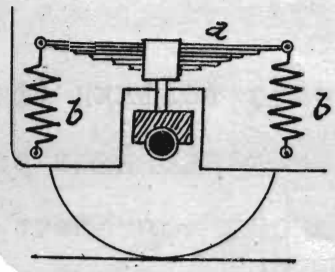
Фиг.86

Шкворень а телѣжки (фиг. 87), укрѣпляемый на рамахъ вагона передаетъ вѣсъ вагона помощью поперечнаго бруса b и рессоръ с (по три на каждой сторонѣ) на нижней брусъ d. Послѣдній помощью Продольныхъ брусьевъ е и подвѣсокъ f передаетъ вѣсъ на поперечныя крѣпленія g и g рамъ телѣжки. Вѣсъ отъ рамъ телѣжки передается на буксы



Фиг.87

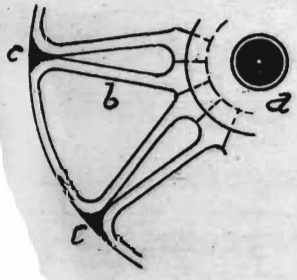
осей при помощи листовыхъ рессоръ a (фиг.88), у которыхъ рессорныя подвѣски замѣнены или снабжены спиральными рессорами b. Кромѣ шкворня вѣсъ вагона на брусъ b передается боковыми скользунами g и h, которые иногда замѣняются также пружинными опорами.



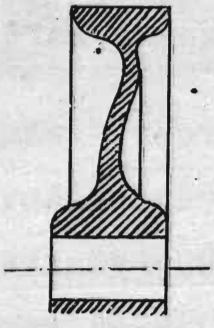
Фиг.88

При очень большихъ (выше 120 km/h) скоростяхъ движенія и указзнное рессорное подвѣшеніе является уже мало удовлетворительнымъ и въ этомъ одна изъ задержекъ въ развитіи высокихъ скоростей.

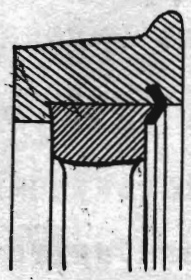
Колесные центры для вагоновъ употребляются главнымъ образомъ или кованно - сварные или дисковые прокатанные (рѣже). Первые (фиг.89) свариваются въ одно цѣлое изъ ступицы a, спицъ b и вставокъ c. Вторые (фиг.90) прокатываются на спеціальныхъ станкахъ, причемъ диску придаютъ криволинейное очертаніе для большей упругости. Употребляемые въ Англіи и Америкѣ колесные скаты съ деревянными и бумажными центрами на континентѣ совершенно не употребляются благодаря ихъ непрочности. Укрѣпленіе бандажей на центрахъ (фиг.91) производится помощью уступа на бандажѣ и кольца въ формѣ ласточкина хвоста.



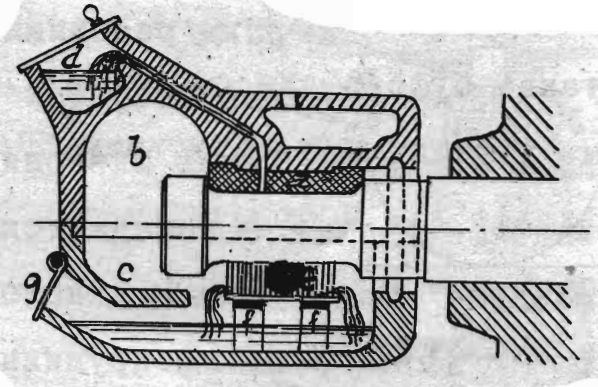
фиг.89



фиг. 90



фиг. 91



фиг. 92

Буксы вагоннаго типа (фиг.92) всегда совершенно закрытия, устройство видно на эскизѣ. На немъ a - вкладышъ, b верхняя половинка буксы, C нижняя половинка, d - масленка, e смазочная щетка, f нажимная пружина, g нижняя масленка.

§ 3. Товарные вагоны.

а) Багажные и почтовые вагоны, являясь по роду своей службы вагонами товарными, обращаются въ пассажирскихъ и скорыхъ поѣздахъ, а потому должны вполнѣ удовлетворять и условіямъ предъявляемымъ къ пассажирскимъ вагонамъ. Вагоны багажные должны имѣть большое отдѣленіе для багажа съ боковыми задвижными дверями товарнаго типа; въ отдѣленіи для багажа должны быть устраиваемы клѣтки для перевозки собакъ. Кромѣ того обычно въ багажныхъ вагонахъ имѣется отдѣленіе багажнаго кондуктора со столомъ для письменныхъ занятій и отдѣленіе главнаго кондуктора. Рекомендуется устраивать также убор-

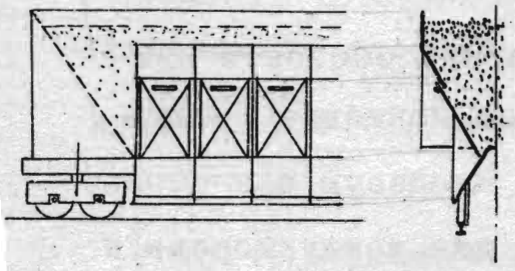
ную съ ватеръ-клозетомъ и ставить керосиновую кухню для кондукторовъ. Иногда въ багажномъ вагонѣ помѣщается также буфетъ для снабженія пассажировъ въ вагонахъ чаемъ и холодными закусками. Вагоны почтовые имѣютъ отдѣленіе для почтовыхъ операцій, кладовую для перевозки посылокъ и служебное отдѣленіе для кондукторовъ и охраны. Ввиду того, что почтовымъ чинамъ приходится совершать сортировку почты стоя, необходимо заботиться о хорошемъ рессорномъ подвѣшеніи вагоновъ.

b) Открытые товарные вагоны. Для массовыхъ перевозокъ грузовъ, не страдающихъ отъ дѣйствія атмосферныхъ вліяній, напр. каменнаго угля, дровъ, лѣса, рельсъ и т.п., а также предметовъ очень громоздкихъ и тяжелыхъ (машины, артиллерійскія орудія) употребляютъ открытые товарные вагоны и платформы. Наши ж.д. располагаютъ платформами въ 21,30 и 42 фута длины. Послѣднія на двухъ двухосныхъ телѣжкахъ (подъемная сила 2000 пуд.). У насъ платформы примѣняютъ для перевозки рельсъ, шпалъ, лѣса, сѣна, хлопка (послѣдн. два подъ брезентами) и машинъ (въ особенности сельскохозяйственныхъ).

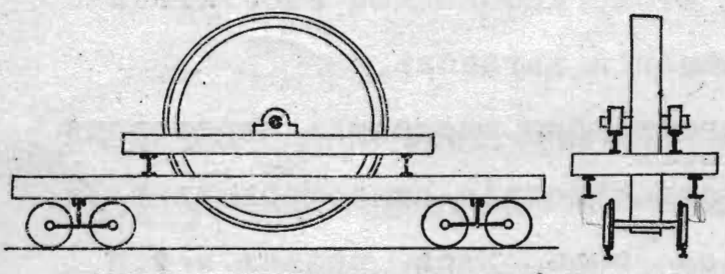
Слѣдующимъ типомъ являются полувагоны или вагоны съ высокими бортами. Такіе вагоны примѣняются главнѣйшимъ образомъ для перевозки угля и дровъ (въ послѣднемъ случаѣ вмѣсто бортовъ высокая обрѣшетка). Вагоны для угля изготовляются также съ желѣзными стѣнками и часто снабжаются приспособленіями для быстраго опораживанія ихъ. На эскизѣ (фиг.93) представленъ вагонъ системы Тальбо-

Иногда в бак. вал. помѣщаются станціи 6ад электр. освѣщ. поѣзда.

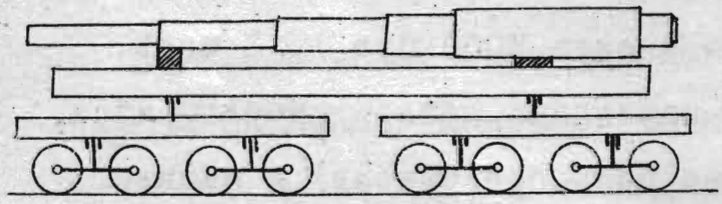
та съ боковыми задвижными щитами для разгрузки. Для перевозки громоздкихъ частей машинъ употребительны платформы такой конструкціи, что можно использовать габаритъ подвижного состава между колесъ внизу (фиг.94). Такія платформы употребляютъ при перевозкѣ маховиковъ большихъ размѣровъ, динамо-машинъ и т.п. Для перевозки очень тяжелыхъ артиллерійскихъ орудій употребляютъ многоосныя (8-12-16) платформы (фиг.95). Эскизъ представляетъ схему платформы зав. Круппа съ подъемной силой въ 100 t_m. Экипажъ составленъ изъ 2-хъ четырехосныхъ телѣжекъ, причемъ каждая изъ нихъ въ свою очередь составлена изъ двухъ двухосныхъ телѣжекъ. Тотъ же заводъ имѣетъ въ своемъ распоряженіи 16-осные вагоны, состоящіе изъ четырехъ четырехосныхъ телѣжекъ, соединенныхъ попарно въ 8-осныя телѣжки.



фиг.93



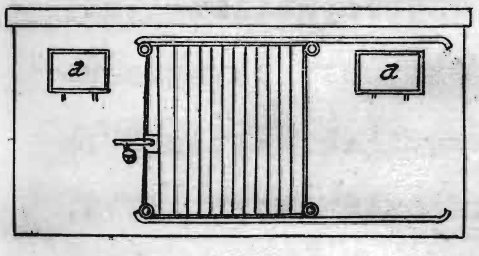
фиг.94



фиг.95

c) Крытые товарные вагоны. Большинство ж.д. перевозокъ совершается однако въ крытыхъ товарныхъ вагонахъ. Въ

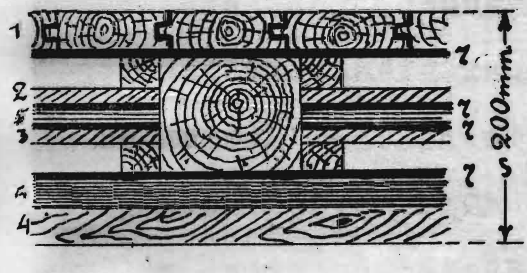
общемъ устройство ихъ слѣдующее. Обрѣшетка вагона деревянная, крашенная. Съ боковъ устраиваются задвижныя двери, запираемыя щеколдою. Рамы вагона состоятъ изъ двухъ продольныхъ швелеровъ съ поперечными крѣпленіями и раскосами. Буксы безъ зазоровъ въ направляющихъ. Въ кузовѣ по концамъ вверху дѣлается 4 люка а размѣромъ 400 × 700 ‰ (фиг.96), откидываемыхъ внизъ на шарнирахъ.



фиг. 96

Люки служатъ для свѣта и вентиляціи въ случаѣ перевозки въ крытыхъ товарныхъ вагонахъ людей и животныхъ. Подъемная сила нашихъ нормальныхъ товарныхъ вагоновъ 900 и 1000 пуд. при тарѣ нетормазныхъ вагоновъ около 400 пуд.

Кромѣ нормальныхъ вагоновъ дороги имѣютъ еще спеціальные вагоны для перевозки скота, мелкаго скота и птицы (2-х этажные) и вагоны - ледники для перевозки скоропортящихся продуктовъ (молочн.продукты, рыба, фрукты, битое мясо и т.п.). Въ этихъ вагонахъ стѣнки устраиваются по эскизу (фиг.97). На немъ обозначены: 1-4 деревянныя стѣнки, 5 и 6 войлокъ и 7 обшивка изъ цвѣтнаго картона. Двери, полъ и потолокъ устраиваются по этому же типу. Въ вагонѣ помѣщается ледникъ, набиваемый льдомъ на

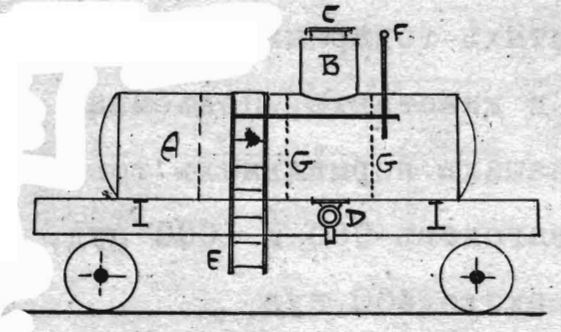


фиг. 97

большихъ станціяхъ. Въ этихъ вагонахъ при достаточномъ

количествѣ льда лѣтомъ можно поддерживать продолжитель ное время температуру 4-5°С. Тѣ же вагоны въ зимнее время могутъ служить для перевозки продуктовъ не переносящихъ температуру ниже нуля (напр. рыба и т.п.). Въ этомъ случаѣ вагоны могутъ слегка отапливаться особой печью.

d) Вагоны для перевозки жидкостей. Для перевозки (массовой) жидкостей, напр. керосина, спирта, маселъ и т.д. употребляются цистерны. Цистерна (фиг.98) представляетъ клепанный желѣзный цилиндрическій сосудъ A, снабженный колпакомъ B съ герметически закрывающейся крышкой C, черезъ которую происходитъ наполненіе.



фиг. 98

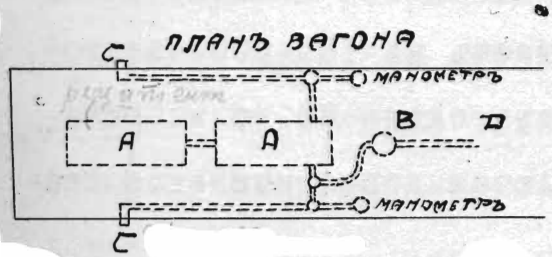
Внутри цистерны имѣются перегородки G (съ отверстіями для предохраненія разрушеній подъ вліяніемъ инерціи жидкости при перемѣнѣ скорости движенія. Внизу цистерна снабжена краномъ D , служащимъ для опораживанія. Лѣстница E и площадка съ перилами F необходимы для доступа къ люку C. Колпакъ B снабжается (при огнеопасныхъ жидкостяхъ) предохранительнымъ клапаномъ или вентиляціонной трубочкой для удаленія газовъ. Нашимъ инженеромъ Кубасовымъ спроектированы ящичныя цистерны для нефти, которыя при обратномъ перегонѣ порожнемъ на Кавказъ могутъ служить какъ обыкновенныя платформы. Въ Россіи цистерны изготовляются подъемной силы до 1500 пуд.

§ 4. ОСВѢЩЕНІЕ, ОТОПЛЕНІЕ И ВЕНТИЛЯЦІЯ ВАГОНОВЪ.

а) Освѣщеніе.

Для освѣщенія вагоновъ примѣняется въ настоящее время газовое, газокалильное, ацетиленовое и электрическое освѣщеніе. Мы не говоримъ о примѣняющемся у насъ свѣчномъ освѣщеніи, т.к. способъ этотъ надо считать совершенно не пригоднымъ и опаснымъ.

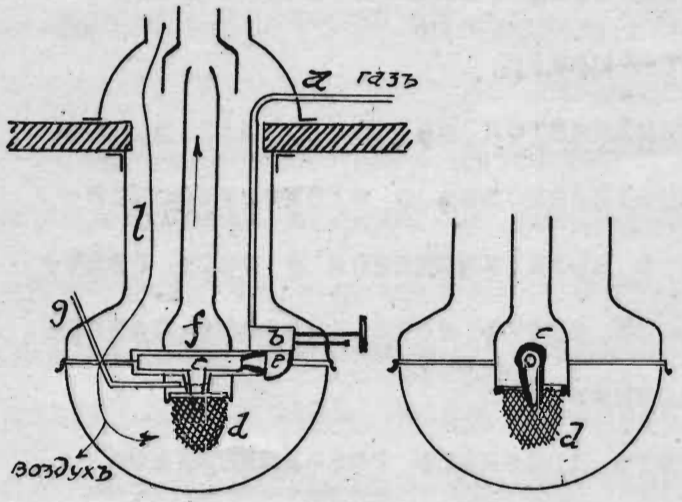
Весьма совершеннымъ слѣдуетъ признать газокалильное освѣщеніе Пинтша съ опрокинутымъ пламенемъ. Свѣтильный газъ изготовляется на нѣкоторыхъ станціяхъ дороги (нап. на Николаевской ж.д.въ С.П.Б. и Москвѣ) на маленькихъ газовыхъ заводахъ при депо путемъ перегонки нефтяныхъ остатковъ. Газомъ наполняются вагонные рецѣпіенты (резервуары) подъ давленіемъ около 6-10 *atm*. На промежуточныхъ станціяхъ должны имѣться запасные резервуары съ давленіемъ газа въ 10 *atm*. на случай зарядки вагонныхъ рецѣпіентовъ. На рецѣпіентъ А (фиг. 99) ставится



Фиг. 99

регуляторъ давленія В при началѣ газопровода, понижающій давленіе до 150 $^{m}/_{m}$ водяного столба. Наполненіе рецѣпіента производится черезъ штуцера С, имѣющіеся по обѣимъ сторонамъ вагона. Лампы включаются въ газопроводъ Д. Лампы употребляютъ системы Д.Пинтшъ съ опрокинутымъ пламенемъ. Онѣ хороши тѣмъ, что не даютъ тѣни отъ самой лампы. Схематическое

устройство лампы состоитъ въ слѣдующемъ: (фиг.100):



фиг.100

газъ подводится трубкою a черезъ регулирующій кранъ b въ сопло e и трубку смѣшенія c, гдѣ онъ спѣшивается съ воздухомъ и сгараетъ, накаливая сѣтку d. Воздухъ, необходимый для сгоранія смѣси, поступаетъ сверху по футляру l, подогрѣваясь по пути отъ "дымовой" трубы f, по которой удаляются продукты горѣнія. Трубкою g подводится газъ отъ параллельной вѣтви газопровода для постояннаго малаго горѣнія. Это пламя горитъ и при выключеніи самого фонаря для возможности въ любой моментъ зажечь пламя вновь. Стоимость такого освѣщенія на I свѣчу - часъ, считая % на капиталъ и прочіе расходы, обходится около 0,03-0,05 коп. Одной сѣтки хватаетъ на 100-200 час.горѣнія. 30 свѣчн. лампа расходуетъ около 20 кб.м. газа въ часъ при 150 m/m давленія, включая дополнительное горѣніе.

Ацетиленовое освѣщеніе (безъ калильной сѣтки) принято на Венгерскихъ ж.д. Для производства ацетилена служатъ производители того же типа, что для велосипедныхъ фонарей. Можно также возить реципіентъ сжатаго до 10 atm ацетилена. Стоимость освѣщенія на I свѣчу часъ около 0,05

коп. Освѣщеніе небезопасно вслѣдствіе сильно взрывчатыхъ свойствъ ацетилена и у насъ въ Россіи не примѣняется.

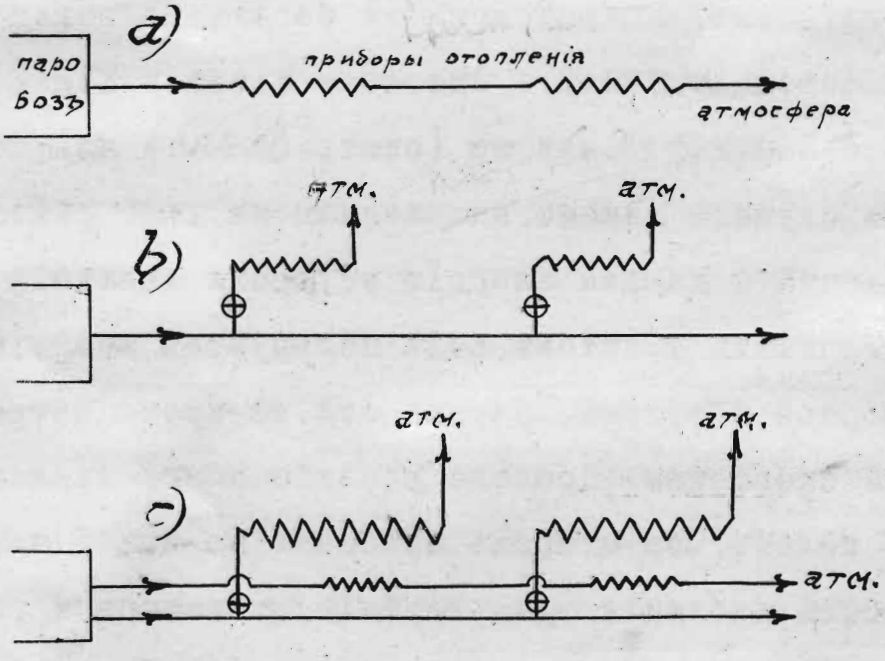
Электрическое освѣщеніе. является наиболѣе совершеннымъ видомъ освѣщенія вагоновъ. У насъ примѣняется главнымъ образомъ или освѣщеніе отъ центральной станціи съ особымъ паровымъ или нефтянымъ (или керосиновымъ) двигателемъ, помѣщаемомъ въ багажномъ вагонѣ (напр. въ поѣздахъ С.П.Б.- Одесса - Кіевъ и Кіевъ - Варшава Юго-Зап.ж.д.) или же (сист. Stone) для освѣщенія поѣзда служитъ динамо, насаженная на валъ ската багажнаго вагона и дающая энергію во время движенія поѣзда. При стоянкахъ и тихомъ ходѣ пользуются энергіей аккумуляторной баттареи, заряжаемой во время движенія съ большой скоростью. Провода удобнѣе всего закладывать подъ поломъ, въ старыхъ вагонахъ на крышѣ при условіи хорошей изоляціи. Для горѣнія въ ночное время рекомендуется устраивать особыя мало свѣчныя лампочки съ синимъ стекломъ. Употребляютъ иногда и чисто аккумуляторное освѣщеніе. Сравнительная стоимость I свѣчи-часа по даннымъ разныхъ ж.д. можно принимать:

чисто аккумуляторное 0,I - 0,5 коп.
отъ особой станціи 0,06 - 0,I2 „
освѣщеніе отъ оси вагона около 0,06 коп.

Примѣненіе лампъ съ металической нитью (экономическихъ даетъ отъ 6-30% экономіи въ стоимости свѣчи-часа.

b) Отопленіе.

Отопленіе печами (желѣзными) постепенно исчезаетъ уже изъ практики. Оно дорого, требуетъ много ухода, непріятно для пассажировъ и опасно въ пожарномъ отношеніи. Чисто - паровое отопленіе примѣняется высокаго, низкаго давленія и смѣшанное. Паръ заимствуется отъ паровоза. Въ первомъ случаѣ (высокое давленіе) фиг.101, а паръ дросселируется такъ, что въ послѣднемъ вагонѣ имѣетъ давленіе около 3-хъ атмосферъ. Нагрѣвательныя баттареи находятся подъ давленіемъ. Регулированіе возможно въ каждомъ купе путемъ выключенія части или всѣхъ нагрѣвательныхъ приборовъ. Недостатокъ - неравномѣрное, ослабѣвающее дѣйствіе по мѣрѣ удаленія отъ паровоза. Отопленіе низкаго давленія (очень экономично) фиг.101 *в*, состоитъ въ томъ, что въ каждомъ вагонѣ помощью особаго клапана (доступнаго только кондуктору) паръ дросселируется почти до I *atm*. Нагрѣватель-



Фиг. 101 (схема)

ние приборы сообщаются съ атмосферой. Регулированіе возможно сразу для всего вагона. Смѣшанное отопленіе высокаго и низкаго давленія (1/3 пов.нагрѣва выс. давл. и 2/3 низк.давл) фиг.101 с, принятое на Прусскихъ ж.д. даетъ возможность широкаго регулированія, оставаясь экономичнымъ. Соединеніе вагонныхъ проводовъ между собой производится гибкими резиновыми шлангами.

Паро - воздушное отопленіе (Франц. Восточная ж.д.).

Паръ изъ паровознаго котла, сдросселированный до давленія 4-5 atm. смѣшивается съ сжатымъ воздухомъ отъ тормазнаго насоса и эта смѣсь выпускается въ вагонахъ подъ скамьями. Отопленіе это пригодно особенно для длинныхъ поѣздовъ, для к-хъ паровое отопленіе даетъ плохіе результаты для послѣднихъ вагоновъ. На указанной дорогѣ (при поѣздахъ до 24 трехосн.вагоновъ)при внѣшней t въ -15°C достигается + 20°C внутри вагоновъ.

Водяное отопленіе, устраиваемое или въ каждомъ вагонѣ отдѣльно (особый котелъ низкаго давленія, сѣть трубъ и нагрѣвательныхъ приборовъ), какъ это принято на большинствѣ дорогъ Россіи или центральное водяное отопленіе въ спеціальномъ вагонѣ, включаемомъ въ середину поѣзда (Николаевская ж.д.) является наиболѣе совершеннымъ. Оно даетъ тѣ же преимущества, что паровое, но благодаря меньшей $t°$ нагрѣвательныхъ приборовъ (болѣе низкое давленіе) не замѣчается дурного запаха отъ пригоранія пыли и не такъ сильно страдаетъ деревянная обшивка вагоновъ.

При независимомъ въ каждомъ вагонѣ отопленіи вагонъ остается теплымъ во время маневровъ, что при нашемъ климатѣ особенно важно.

Электрическое отопленіе, примѣняемое въ Америкѣ уже болѣе чѣмъ въ 2000 вагоновъ, въ нашихъ условіяхъ слишкомъ дорого, а потому привиться пока не можетъ.

в) Вентиляція.

Притокъ свѣжаго воздуха долженъ совершаться въ связи съ отопленіемъ, т.е. воздухъ долженъ подогрѣваться. Регулированіе притока свѣжаго воздуха можно такимъ образомъ регулировать и t° помѣщенія. Удаленіе воздуха производится черезъ сосуны, располагаемые на крышѣ (то же регулируемые изъ внутри вагона) вагона и производящіе засасываніе во время хода поѣзда. Въ жаркое время (въ южныхъ странахъ) воздухъ предварительно охлаждаютъ льдомъ. Полезно устраивать подъ потолкомъ вентиляціонныя крылья, приводимыя въ движеніе анемометромъ во время движенія поѣзда для лучшаго перемѣшиванія вновь поступающаго воздуха съ испорченнымъ.

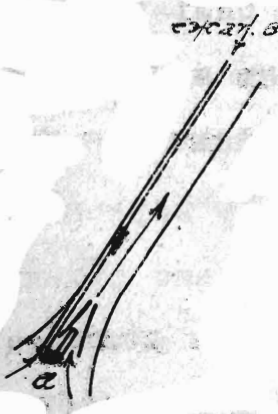
§ 5. Чистка и дезинфекція вагоновъ.

а) Очистка отъ пыли пассажирскихъ вагоновъ.

Пассажирскіе вагоны снаружи обмываются и обтираются тряпками для сохраненія лака и для того, чтобы хорошо былъ бы виденъ цвѣтъ вагоновъ и надписи.

Внутри вагоны и мебель ихъ должны тщательно очищаться отъ пыли, которая непріятна сама по себѣ и кромѣ того

является ужаснымъ разсадникомъ болѣзней. Очистка щетками и колотушками совершенно неудовлетворительна по достигаемымъ результатамъ и вредна для рабочихъ. Въ настоящее время всѣ болѣе крупные узлы ж.д. обладаютъ пневматическими пылесосными станціями (въ томъ числѣ нѣкоторыя станціи русскихъ ж.д., напр. на Николаевской ж д. С.П.Б. и Москвѣ). Постоянная станція производитъ сжатый воздухъ, который проводится по вагонному парку и отъ особыхъ штуцеровъ къ ручнымъ пылесосамъ, устройство котораго схематично показано на эскизѣ (фиг 102)



Фиг. 102

Сжатый воздухъ выходитъ изъ трубочки проходитъ черезъ сопло Въ раструбѣ a образуется разрѣженіе воздуха 30-50 m/m ртутнаго столба Раструбомъ a водятъ по очищаемой поверхности. получается полное удаленіе пыли Для очистки угловъ предварительно ихъ продуваютъ сжатымъ воздухомъ

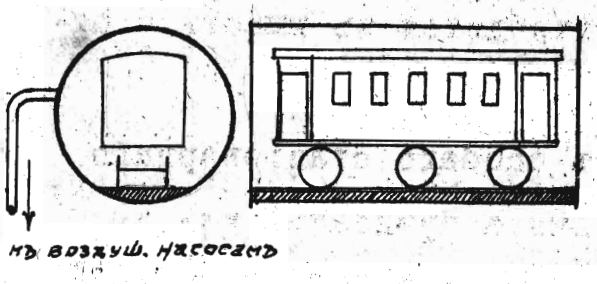
ъ) Уничтоженіе насѣкомыхъ.

Не меньшимъ бичомъ являются насѣкомыя. Истребленіе ихъ порошками дорого и нерацiонально, т.к. не дѣйствуетъ на зародышей. Большого вниманія заслуживаетъ поэтому способъ примѣняемый на Прусскихъ ж.д.[x]

Вагонъ съ открытыми окнами помѣщается въ желѣзную трубу (фиг.103) и въ ней герметически закупоривается.

---

x) Glaser's Annalen 1910 S.29

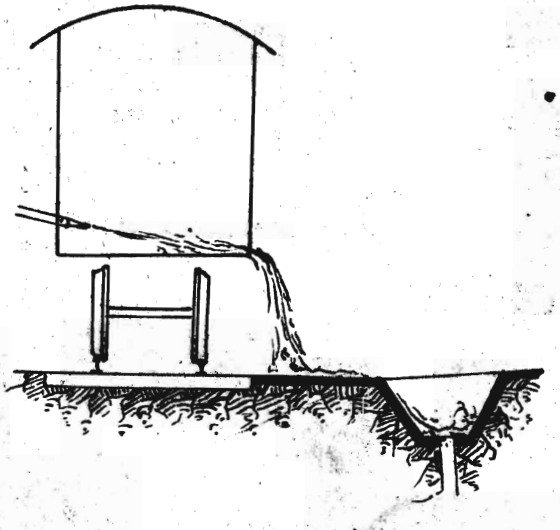


фиг. 103.

Затѣмъ производится единовременно значительное разрѣженіе воздуха, подогрѣваніе до 80-90° С и впрыскиваніе во внутрь трубы формалина. Этимъ процессомъ совершенно убиваются всѣ насѣкомыя, ихъ зародыши и всякія бактеріи. Операція продолжается около 1½ - 2 часовъ, затѣмъ вагонъ провѣтривается. Операція обходится значительно дешевле прежняго способа, краска и лакъ вагоновъ не страдаютъ. Указанный способъ былъ бы весьма желателенъ на Русскихъ ж.д. въ большомъ масштабѣ

Послѣ дезинфекціи вагонъ провѣтривается нѣсколько часовъ.

с) Очистка скотскихъ вагоновъ



фиг. 104

Скотскіе вагоны должны быть очищаемы отъ отбросовъ помощью горячей воды и дезенфицированы (особенно въ случаяхъ при подозрѣніи эпизоотіи) 3% растворомъ карболовой кислоты. Очистка должна производиться на путяхъ, имѣющихъ превышеніе одного рельса надъ другимъ для легкаго стока воды изъ вагоновъ (фиг. 104). Полотно должно быть покрыто слоемъ це-

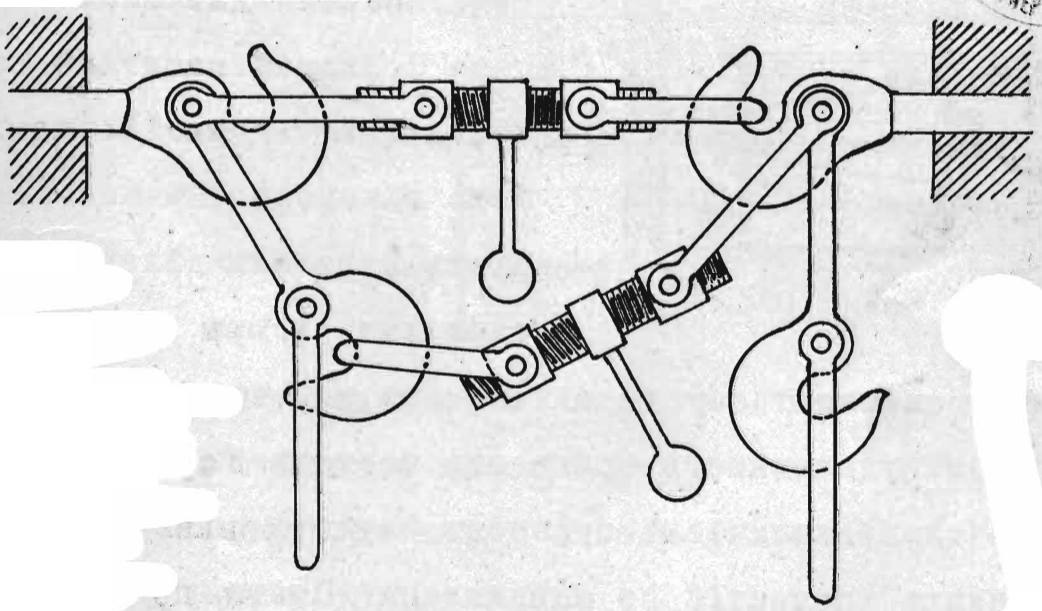
мента, покрытаго сверху слоемъ асфальта, чтобы не загрязнялась почва. Грязная вода отводится въ кювет и отливъ.

Горячая вода получается или отъ особаго стаціонарнаго котла (при большихъ скотопригонныхъ пунктахъ) или же отъ особаго стараго паровоза (напр. въ С.П.Б. Николаевской ж.д.), въ крайнемъ случаѣ отъ маневроваго паровоза.

Библиотека учебников Киевского политехнического института Императора Александра II

§ 6. Автоматическая сцѣпка вагоновъ. *)

Обычнымъ типомъ упряжныхъ и ударныхъ приборовъ являет-



Фиг. 105

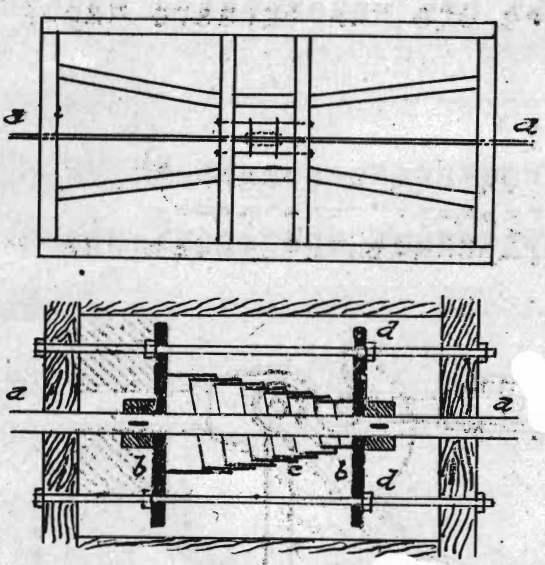
ся на нашихъ ж.д. 2боковыхъ ударныхъ буфера и средняя

---

*)Прекрасное описаніе системъ автоматическихъ сцѣпокъ см. Handbuch d. Eisenbahnmaschinenwesens. Band I (Ritter von Stockert Berlin 1908 стр. 492-540.

стяжка съ запасной стяжкой (фиг.105). Запасныя цѣпи не достигаютъ никакой цѣли. Въ товарныхъ вагонахъ упряжная тяга a проходитъ сквозь весь вагонъ и упряжная рессора помѣщается въ серединѣ вагона, какъ видно на слѣдующемъ эскизѣ (фиг.106). При перемѣщеніи тяги a она

фиг. 106



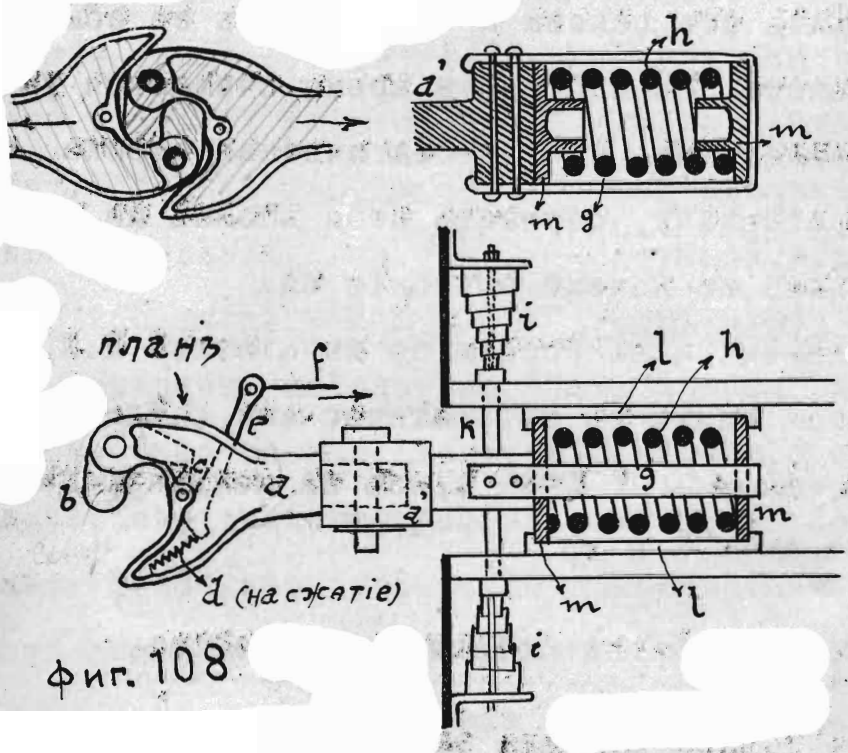
фиг. 107

захватываетъ одинъ изъ дисковъ b (фиг.107) к-е могутъ свободно передвигаться въ одномъ направленіи по направляющимъ болтамъ d, причемъ упряжная рессора C сжимается между дисками. Такое устройство дешево и хорошо. Въ пассажирскихъ вагонахъ дѣлаются не зависимые крюки.

Одѣваніе сцѣпки требуетъ однако при маневрахъ много времени, а удаленность крюка отъ бортовъ вагона въ совокупности съ наличіемъ буферовъ служитъ источникомъ постоянныхъ несчастій со сцѣпщиками. Поэтому уже давно предлагались болѣе совершенные приборы - автоматическая сцѣпка, которая получила право гражданства въ Америкѣ. На европейскихъ дорогахъ она вводится постепенно, причемъ для переходного времени составляются оба типа сцѣпокъ. Кромѣ быстроты маневровъ и безопасности, автоматическая сцѣпка сильнѣе и короче, т.е. содѣйствуетъ увеличенію состава поѣзда безъ увеличенія длины его,

т.е. повышаетъ производительность товарныхъ парковъ.

Въ идѣе почти всѣхъ автоматическихъ сцѣпокъ лежитъ принципъ руки. Мы даемъ описаніе и эскизъ автоматической сцѣпки Круппа, съ успѣхомъ примѣняемый въ Германіи (фиг.108).



фиг. 108

Сцѣпка состоитъ изъ головки a (изъ литой стали) поворотной схватки b, ходъ которой въ направленіи стрѣлки ограничивается собачкой c стоящей подъ дѣйствіемъ пружины d. Помощью тяги (цѣпочки f), проведенной къ борту вагона и рычажка e можно повернуть собачку, выведя изъ зацѣпленія съ схваткой, что необходимо при расцѣпленіи вагоновъ. Головка a соединена болтомъ съ основой a'. Послѣдняя охвачена хомутомъ g. Когда сцѣпка передаетъ усиліе тяги то хомутъ g захватываетъ одну изъ тарелокъ m ходъ которыхъ ограниченъ боковыми направляющими на рамахъ вагона l и черезъ посредство этой тарелки m сжимаетъ пружину h. Боковые стержни ограничиваютъ поперечныя перемѣщенія всей сцѣпки сжатіемъ витыхъ рессоръ i, ос-

тавляя сцѣпку подвижной въ поперечномъ направленіи. Та же средняя сцѣпка играетъ роль буфера, которые становятся не нужны. Для переходного времени, когда употребительны и автоматич. и старая винтовая стяжка, можно головку а отнять отъ основы а' и замѣнить ее обычнымъ упряжнымъ крюкомъ. Въ настоящее время считается уже твердо установленнымъ, что автоматическая сцѣпка, несмотря на дороговизну, окупаетъ себя вполнѣ по причинамъ, указаннымъ въ началѣ описанія ея.

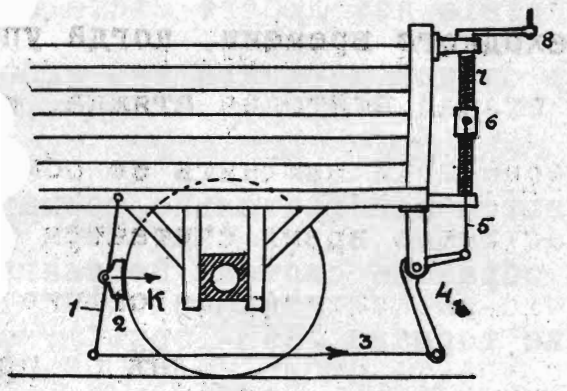
Въ настоящее время и въ Россіи по иниціативѣ Н.Л.Щукина производятся опыты съ автоматическими сцѣпками системъ Pavia-Kasalis (I-ный призъ на международномъ конкурсѣ), Гаранинна и др.

§ 7. Устройство поѣздныхъ тормазовъ.

Для остановки поѣзда или для замедленія его движенія употребляются тормаза помощью которыхъ можно вводить добавочное сопротивленіе движенію и этимъ достигать желаемой цѣли. Теорія торможенія, равно и рѣшеніе тормазныхъ задачъ изложена въ параграфѣ 10 третьей части. Здѣсь же будетъ дано только описаніе тормазныхъ устройствъ.

Тормаженіе поѣзда достигается тѣмъ, что въ его составѣ имѣются тормазные вагоны, тормаза которыхъ приводятся въ случаѣ надобности въ дѣйствіе. Обычное устройство тормазнаго приспособленія представлено на фиг.109. На подвѣскѣ I, шарнирно укрѣпленной къ вагонной рамѣ, ук-

рѣплена шарнирно же чугунная колодка 2, которая можетъ быть съ силою К прижата къ ободу колеса подъ дѣйствіемъ тяги 3 связанной съ угловымъ рычагомъ 4, тягою 5 и муфтою 6, которая является гайкой неподвижнаго винта 7, приводимаго въ вращеніе съ помощью ручной рукоятки 8. Подъемъ муфты 6 сопровождается нажатіемъ колодки на ободъ колеса, чѣмъ вызывается добавочное треніе скольженія колеса о колодку ($=fK$), которое и является добавочнымъ сопротивленіемъ движенію. Указанное устройство примѣняется теперь только для товарныхъ вагоновъ, на пассажирскихъ же багонахъ и тендерахъ ручной тормазъ является лишь запаснымъ. Неудобства ручныхъ тормазовъ слѣдующія:



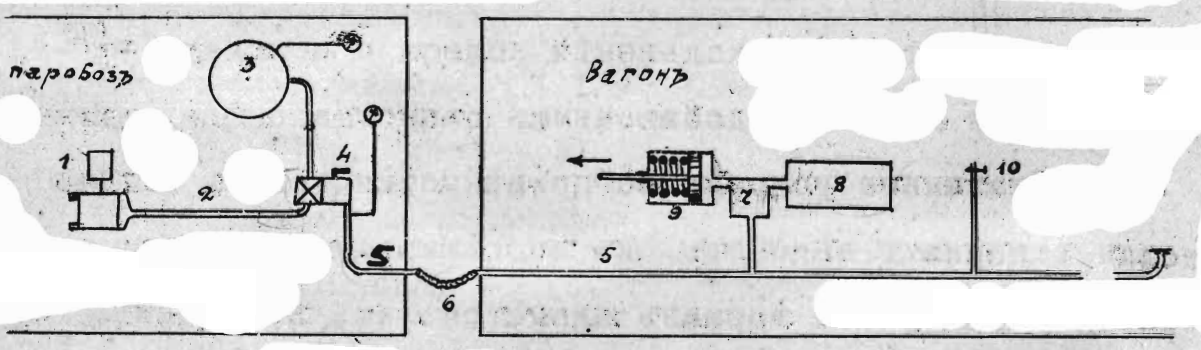
фиг. 109.

I)ими нельзя управлять съ паровоза или изъ произвольнаго мѣста поѣзда. 2) Для тормаженія необходимо имѣть бригаду тормазильщиковъ, которые дѣйствуютъ по сигналу свисткомъ (три отрывистыхъ свистка) съ паровоза. 3) Въ случаѣ разрыва поѣзда оторвавшаяся часть можетъ оказаться безъ достаточнаго числа тормазовъ, что можетъ привести къ катастрофѣ.

Ввиду этого въ пассажирскихъ поѣздахъ примѣняются исключительно почти механическіе автоматическіе и непрерывные тормаза, т.е. такіе, которые I)дѣйствуютъ отъ

механическаго двигателя 2) при разрывѣ поѣзда автоматически начинаютъ дѣйствовать на обѣ части поѣзда 3) могутъ быть приведены въ дѣйствіе изъ любого мѣста поѣзда; обычно съ паровоза, въ случаѣ же нужды изъ любого вагона.

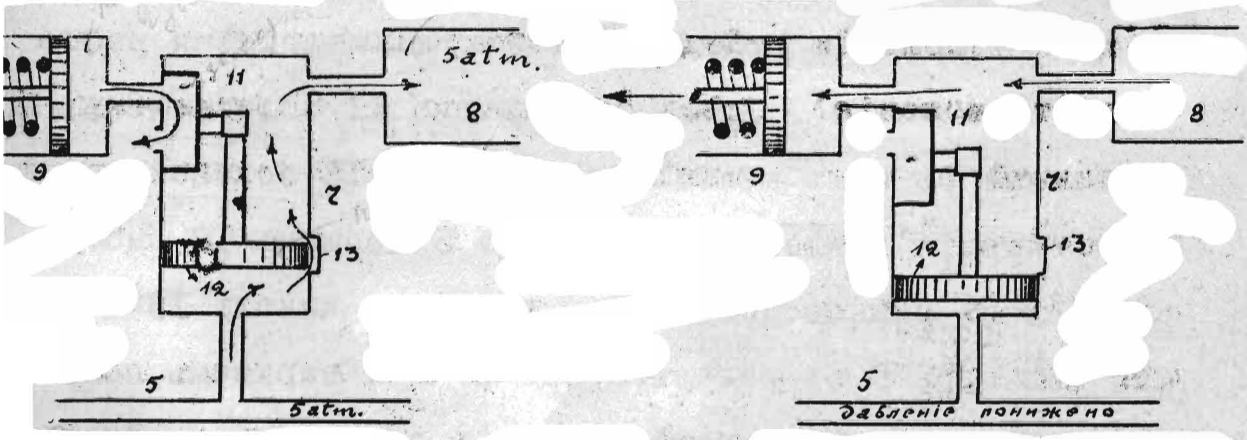
На русскихъ ж.д употребляются исключительно тормаза сжатаго воздуха, главнымъ образомъ системы Вестингауза (небольшое количество также тормаза "Нью-Іоркъ"), схема дѣйствія которыхъ понятна изъ фиг. 110 и ея описанія. На паровозѣ (110) имѣется воздушный насосъ 1, кото-



Фиг. 110

рый сжимаетъ воздухъ до 7-8 atm. и гонитъ его по трубѣ 2 въ главный резервуаръ 3 черезъ кранъ машиниста 4. Этотъ кранъ съ другой стороны соединенъ съ главнымъ воздухопроводомъ 5, идущимъ вдоль всего поѣзда (воздухопроводъ на концѣ закрытъ). Между вагонами соединеніе дѣлается гибкими резиновыми шлангами 6. Въ воздухопроводѣ поддерживается давленіе воздуха 4½ - 5 atm. и естественная утечка воздуха пополняется автоматически изъ главнаго резервуара черезъ клапанъ - редукторъ въ кра-

къ машиниста. Въ вагонахъ къ воздухопроводу примыкаетъ автоматическій тройной клапанъ 7, устройство котораго показано на схемѣ фиг. III, а къ послѣднему присоединяется вспомогательный резервуаръ 8 и тормазный цилиндръ 9. Дѣйствіе тормазовъ заключается въ томъ, что

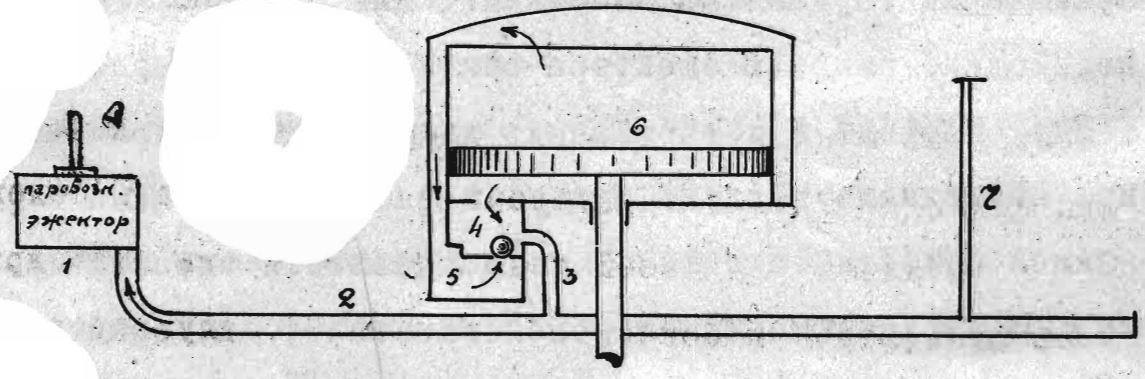


фиг. 111

если мы помощью крана машиниста 4 или кондукторскаго крана 10 выпустимъ часть воздуха изъ воздухопровода, т.е. понизимъ въ немъ давленіе, то тройной клапанъ автоматически сообщаетъ вспомогательный резервуаръ 8 съ тормазнымъ цилиндромъ 9, вслѣдствіе чего поршень тормазнаго цилиндра движется въ направленіи стрѣлки и производитъ черезъ рычажную передачу давленіе на колодки. Для оттормаживанія сообщаютъ главный резервуаръ 3 съ воздухопроводомъ 5 помощью крана машиниста 4. Тогда вслѣдствіе избытка давленія въ главномъ резервуарѣ воздухопроводъ 5 быстро наполняется, давленіе въ немъ поднимается до нормы, автоматическій клапанъ 7 разобщаетъ цилиндръ отъ вспомогательнаго резервуара, сообщая его

съ проводомъ 5, вслѣдствіе чего вспомогательный резервуаръ вновь заполняется воздухомъ при давленіи около 5 *atm*; тормазной же цилиндръ сообщается въ это время съ атмосферой и поршень движется обратно въ правое положеніе подъ дѣйствіемъ пружины. Устройство тройного клапана 7 понятно изъ фиг. III , гдѣ клапанъ изображенъ въ положеніи поѣздномъ (оттормаживаніе) и рабочемъ (торможеніе). Здѣсь обозначено II золотничекъ, I2 связанный съ нимъ неизмѣнно поршень, I3 боковой каналъ. Припониженіи давленія въ проводѣ 5 поршень I2 быстро садится въ нижнее положеніе, закрывая каналъ I3 и сообщая цилиндръ 9 съ резервуаромъ 8. При верхнемъ положеніи золотничекъ II своей полостью сообщаетъ цилиндръ 9 съ атмосферой и боковымъ каналомъ I3 воздухопроводъ 5 съ резервуаромъ 8. На фиг. изображена лишь схема устройства, дѣйствительное устройство значительно сложнѣе. При тормаженіи поѣзда съ паровоза первыми тормозятся тормоза тендера и затѣмъ тормаженіе распространяется постепенно по всей длинѣ поѣзда. Если этотъ процессъ будетъ совершаться медленно, то задніе вагоны будутъ насѣдать на паровозъ (возможна поломка буферовъ), а при оттормаживаніи возможенъ разрывъ сцѣпныхъ приборовъ Это обстоятельство особо важно въ длинныхъ товарныхъ поѣздахъ. Въ виду высказаннаго тройные клапаны снабжаются особыми ускорителями, дѣйствіе которыхъ заключается въ добавочномъ выпускѣ сжатаго воздуха изъ общаго воздухопровода, вслѣдствіе чего тормаженіе распростра-

няется по длинѣ поѣзда болѣе быстро. Употребленіе ускорителей обязательно для товарныхъ поѣздовъ. При наличіи ускорителей въ тройныхъ клапанахъ скорость распространенія тормаженія по длинѣ поѣзда достигаетъ 1$^{m}/_{s}$. Кромѣ тормазовъ сжатаго воздуха на нѣкоторыхъ заграничныхъ ж.д. (напр.въ Австріи) примѣняются тормаза разрѣженнаго воздуха системы Гарди - Клейтона схема дѣйствія которыхъ указана на фиг. 112.



фиг. 112

На паровозѣ устанавливается паровой струйный эжекторъ I (который работаетъ по принципу инжектора), снабженный краномъ машиниста A. Эжекторъ сосетъ воздухъ изъ воздухопровода 2 и изъ тормазныхъ цилиндровъ 6, располагаемыхъ подъ вагонами вертикально. Эжекторъ поддерживаетъ разрѣженіе на паровозѣ около 520$^{m}/_{m}$ ртутнаго столба и въ воздухопроводѣ около 350$^{m}/_{m}$ ртутнаго столба. Изъ цилиндровъ воздухъ высасывается изъ верхней и нижнейполости черезъ коробку шарового клапана 4, причемъ тормазной поршень вслѣдствіе собственнаго вѣса перемѣщается въ наинизшее положеніе - положеніе оттормажива-

нія. Если теперь помощью крана машиниста А или вагоннаго кондукторскаго крана 7 сообщить воздухопроводъ 2 съ атмосферой, т.е. повысить въ немъ давленіе, то паровой клапанъ 4 закрываетъ проходъ въ верхнюю полость цилиндра 6, въ которой остается вакуумъ, тогда какъ атмосферный воздухъ войдетъ въ нижнюю полость цилиндра и начнетъ, давя на поршень снизу, перемѣщать его въ верхнее положеніе - тормаженія. Съ штокомъ поршня связанъ приводъ къ тормазнымъ колодкамъ. Для оттормаживанія необходимо помощью эжектора опять понизить давленіе въ воздухопроводѣ 2 и тормазныхъ цилиндрахъ 6, причемъ изъ послѣднихъ воздухъ будетъ высасываться сначала изъ нижней полости, а потомъ, когда давленія выравняются, то изъ верхней черезъ шаровой клапанъ 4, который автоматически приподнимется.

Въ тормазахъ Гарди - Клейтонъ устраиваются также ускорители, производящіе добавочный впускъ воздуха изъ атмосферы въ воздухопроводъ 2. При наличіи ускорителей скорость распространенія тормаженія достигаетъ 230 м/s т.е. тормаза Гарди - Клейтонъ болѣе пригодны для товарныхъ поѣздовъ, чѣмъ тормаза Вестингауза. Однако требованія хозяйственнаго характера позволяютъ имѣть на сѣти ж.д. тормаза лишь одного типа, каковымъ у насъ принятъ типъ Вестингауза и его подражаній. Переходъ на другую систему тормазовъ сопровождался бы слишкомъ значительными издержками.

§ 8. Элементарное понятіе о желѣзно-дорожныхъ мастерскихъ. x)

Для поддержанія въ исправномъ состояніи паровозовъ и вагоновъ необходимо ихъ ремонтировать.

Ремонтъ паровозовъ по трудности его раздѣляется на текущій, малый средній и капитальный.

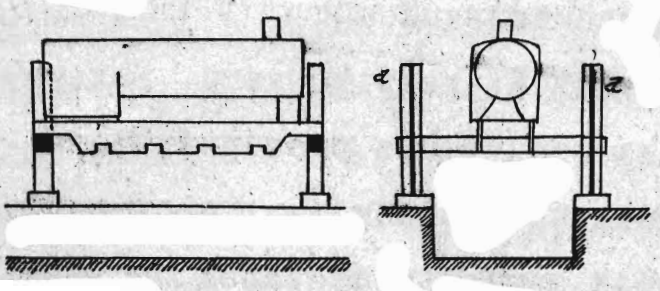
Текущій ремонтъ мелкихъ частей, какъ то напр. вальцеваніе трубъ, перестановка лопнувшихъ распорныхъ связей, заливка дышловыхъ подшипниковъ и т.п. производится въ главныхъ депо особой артѣлью слесарей по указанію машинистовъ. Сюда же можно отнести и періодическую очистку паровознаго котла отъ сажи (баненіе трубъ) и промывку котла, которая производится рѣже или чаще въ зависимости отъ свойства питательной воды (обычно болѣе 1000-1500 верстъ пробѣга). Текщій ремонтъ обходится до 2р 50коп. на 100 верстъ пробѣга.

Малый ремонтъ характеризуется подъемкой паровоза съ выкаткой осей изъ подъ него. Въ главнѣйшемъ малый ремонтъ сводится къ обточкѣ бандажей или въ замѣнѣ скатовъ, заливка буксовыхъ подшипниковъ, мелкій котельный ремонтъ и провѣрка парораспредѣленія. Подъемка производится въ мастерскихъ при главныхъ депо надъ паровозни-

---

x) Описаніе ж.дор. мастерскихъ и станковъ для нихъ см. Современная техника ж.д.дѣла. Томъ III. Мастерскія. СПБ. 1898 г. и Ritter von Stockert. Handbuch des Eisenbahnmaschinenwesens. Bd. III. Werkstätten. Berlin 1908.

ми канавами (для удобства работъ подъ паровозомъ и для выкатки осей) помощью спеціальныхъ винтовыхъ домкратовъ. Продолжительность малаго ремонта обыкновенно около I недѣли. Пробѣгъ отъ ремонта до ремонта 30000--40000 верстъ. Стоимость ≈ I50 руб за ремонтъ.



фиг.113

Средній ремонтъ отличается лишь количествомъ и стоимостью работъ и производится обычно также въ мастерскихъ при депо.

Капитальный ремонтъ паровозовъ, какъ то перемѣна котельныхъ листовъ, топки, сплошная смѣна связей, исправленіе или замѣна рамъ, буксъ, рессоръ и т.д. производится въ главныхъ паровозныхъ мастерскихъ. Пробѣгъ паровоза отъ капитальнаго ремонта до капитальнаго ремонта отъ I00000 до I50000 верстъ (нормально). Стоимость отъ 3 до 5 руб. на сто верстъ пробѣга паровоза. Въ нихъ же производится заготовленіе запасныхъ частей для линейныхъ складовъ и мастерскихъ при депо. Обычно Главныя паровозныя мастерскія на дорогѣ одного управленія имѣются только однѣ для удешевленія хозяйства. Мастерскія раздѣляются обычно на цехи, причемъ имѣются:

)Сборочный цѣхъ - производство разборки паровоза, составленіе заказа другимъ цѣхамъ, сборка послѣ ремонта и испытаніе паровоза.

b) Тендерный цехъ - то же по отношенію тендеровъ.

c) Литейная (чугунно и мѣдно-литейн. отд.) изготовленіе сырыхъ отливокъ изъ чугуна (цилиндры, буксовыя смаз. коробки, колосники и т.п.) и мѣди (арматура). Складъ моделей /и модельная для ихъ изготовленія/

d) Кузнечная - изготовленіе сырыхъ поковокъ и сварочныя работы (рамы и т.п.).

e) Котельная котельный ремонтъ и часто изготовленіе совершенно новыхъ котловъ. Обычно имѣются приспособленія для гидравлической и пневматической клепки, печь и штампы для штампованія лобовыхъ листовъ и рѣшетокъ, листосгибательные станки и т.д. Часто особое отдѣленіе для работъ съ дымогарными трубками (чистка, обрѣзка, наварка и напайка наконечниковъ).

f) Мѣдницкая - работы по трубопроводамъ, какъ мѣднымъ, такъ и желѣзнымъ. Загибка трубъ, напайка фланцевъ.

g) Механическая маст. - работы по разметкѣ сырыхъ отливокъ и поковокъ по чертежамъ и точная обработка предметовъ на станкахъ (сверлильныхъ, строгальныхъ, долбежныхъ, фрезерныхъ и т.п.) для надобностей всѣхъ остальныхъ мастерскихъ. При мех. маст. размѣточная для отливокъ и поковокъ по чертежу.

h) Колесная мастерская - перетяжка бандажей, надѣваніе новыхъ, снятіе старыхъ изношенныхъ бандажей; механическая обработка колесныхъ скатовъ: обточка бандажей, шеекъ осей, пальцевъ кривошиповъ. Бандажи получаются съ заводовъ готовыя. При мастерской колесный паркъ го-

товыхъ запасныхъ скатовъ.

i) Малярная маст - грунтовка, окраска и лакировка паро возовъ.

к) Магазинъ - или складъ запасныхъ частей.

l) Технический отдѣлъ- чертежная по приготовленію рабочихъ чертежей.

Ремонтъ и періодическій осмотръ вагоновъ производится въ главныхъ вагонныхъ мастерскихъ (послѣдній часто и при депо). Онѣ получаютъ также заводскую схему съ раздѣленіемъ на цѣхи: сборочный, колесный, деревообдѣлочный, столярный, малярныи, обивочный и ревизіонный (для текущихъ передѣлокъ и переодическаго осмотра вагоновъ). Малыя вагонныя мастерскія для текущаго ремонта и осмотра имѣются иногда и на линіи при болѣе крупныхъ депо.Непремѣнной принадлежностью всякихъ мастерскихъ является центральная силовая станція для приведенія въ дѣйствіе станковъ Въ настоящее время наиболѣе распространеннымъ способомъ передачи силы является электропередача. Какъ двигатели примѣняются паровыя машины, турбины и двигатели внутренняго сгоранія; послѣдніе особенно пригодны для мастерскихъ при депо.

Въ заключеніе приводимъ нѣкоторый цифровой матеріалъ по мастерскимъ по даннымъ доклада инж. Антошина въ СПБ. и по даннымъ литературы.

Въ среднемъ въ капитальномъ ремонтѣ находится 16-18% наличнаго числа паровозовъ. Продуктивность нашихъ главныхъ мастерскихъ очень разнообразна отъ 15 до 100 шт.

въ годъ, въ среднемъ 40 шт. паровозовъ капитально ремонтируется.

Вагонныя мастерскія должны разсчитываться на 10% всего наличія пассажирскихъ вагоновъ и 3% товарныхъ вагоновъ. На единицу подвижного состава, находящагося въ мастерскихъ одновременно надо считать рабочихъ:

на I паровозъ . . .7-13 рабочихъ
" I пассаж.вагонъ 2-4 "
" I товарный " 0,7-1,5 "

На одного рабочаго надо считать площадь крытыхъ зданій мастерскихъ:

въ паровозныхъ отъ 3-5 кв. саж.
въ вагонныхъ " 5-7 " "

Стоимость крытыхъ зданій составляетъ до 350 рубл. на I кв. саж. пола, стоимость навѣсовъ до 50рубл.на I кв. саж. Общая площадь подъ мастерскія въ 6-10 разъ должна превышать площадь крытыхъ помѣщеній; должны быть устроены запасные пути, вмѣщающіе до 5% всего подвижного состава дороги.

Оборудованіе мастерскихъ станками составляетъ около 60% стоимости зданій, на одного рабочаго стоимость оборудованія доходитъ отъ 500 до 1000 рубл. включая краны. Количество станковъ на одного рабочаго отъ 1/4 - 1/6, на одно стойло паровозныхъ мастерскихъ 8-12 станковъ. Изъ особо дорогого механическаго оборудованія отмѣтимъ для паровозо - сборнаго цеха: передвижная тележка (средняя длина ∾ 5 саж.) или замѣняющій ее мостовой

кранъ пролетомъ 8-II саж. Часто кромѣ главнаго крана на 80-120тоннъ ставятъ еще верхній кранъ на 5-15 тоннъ Свѣдѣній этихъ достаточно для составленія грубой смѣты нужной при общемъ проектѣ желѣзной дороги.

§. 9. Срокъ службы подвижного состава, его инвентарная стоимость.

Средній срокъ службы паровоза около 35 лѣтъ. Паровозы, прослужившіе 35 лѣтъ и имѣющіе старые котлы мовутъ браковаться и исключаться изъ инвентаря дороги Въ уважительныхъ случаяхъ (слишкомъ большой ремонтъ, устарѣлость илюлная непригодность типа и т.п.) паровозы могутъ браковаться и ранѣе съ соблюденіемъ особыхъ условій (разрѣшеніе Управленія Желѣзныхъ Дорогъ.) Вагоны бракуются въ томъ случаѣ, если при капитальномъ ремонтѣ ихъ выясняется, что стоимость ремонта составляетъ 75% и болѣе % отъ инвентарной стоимости. Инвентарная стоимость подвижного состава въ среднемъ слѣдующая:

I) Паровозы по разсчету около 580-600 руб. за тонну порожняго вѣса. Это даетъ слѣдующую стоимость нашихъ главныхъ типовъ:

0 - 4 - 0	.....	27000 руб.
I - 4 - 0	.....	32000 "
2 - 3 - 0	.....	34000 "
I - 3 - 0	.....	30000 "
I - 3 - I	.....	40000 "

2) Тендера по расчету около 370 рублей за I тонну порожняго вѣса, а именно:

3-х осные..... 4000 руб.

4-х " ..... 6500 "

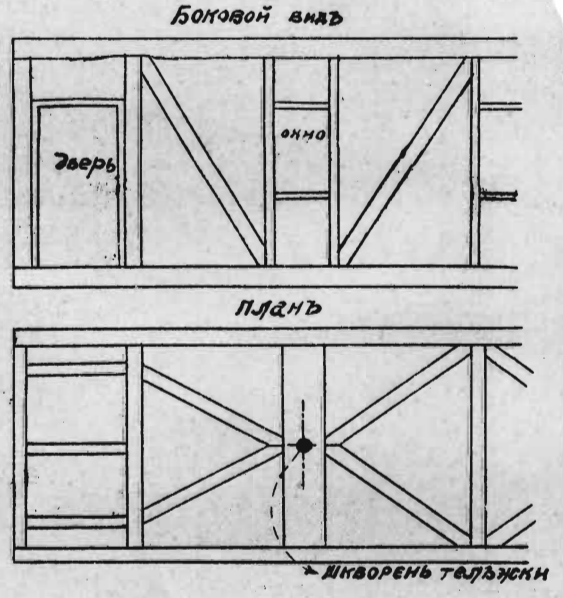
Къ этому (1 и 2) надо еще добавлять: стоимость тормазного оборудованія 1500-2000 руб. на паровозъ, около 1500 руб. оплаты различныхъ патентовъ и спеціальной арматуры. Кромѣ того паровозы съ перегрѣвателями стоятъ въ среднемъ на 3000 руб. дороже. x)

Стоимость вагоновъ въ среднемъ составляетъ:

Пассажирскіе 4-х осные	I класса	18000 - 25000 руб.
	II "	16000 - 18000 "
	III "	13000 - 14000 "
Пассаж 3-х осн.	III класса	8500 - 9000 "
Платформы нормальныя	нетормазныя	1130 руб.
" "	тормазныя	1310 "
" подъемн. силой 2000 пуд.		2000 "
Крытые норм. товарные вагоны		1150 "
" " "	тормазные	1350 "
" подъемн. силой 2000 пуд		2400 ".

x) По этому расчету паровозъ с тендером типа 1-3-1 стоитъ:

основн. стоимость паровоза	43 000
основн. стоимость тендера	6 500
тормазное оборуд. паровоза	2 000
" " тендера	1000
Спец. арматура	1500
Перегреватель	3000
итого	54 000 руб.



фиг. 79 и 80

Часть III.

ТЕОРІЯ ТЯГИ ПОѢЗДОВЪ.

Часть III.

ТЕОРІЯ ТЯГИ ПОѢЗДОВЪ.

§ I. Уравненіе движенія поѣзда.

Уравненіе движенія поѣзда можетъ быть получено въ видѣ уравненія живой силы. Именно, мы можемъ приравнять элементарную работу силъ дѣйствующихъ на поѣздъ элементарному приращенію живой силы поѣзда. Такъ какъ, кромѣ поступательнаго движенія всей массы поѣзда, существуетъ еще и вращательное движеніе скатовъ [x], то слѣдуетъ брать приращеніе живой силы, какъ поступательнаго, такъ и вращательнаго движенія.

Элементарная работа поѣзда выражается произведеніемъ суммы дѣйствующихъ на поѣздъ силъ на элементарный путь поѣзда dS. Дѣйствующими силами являются Z -сила тяги на ободѣ движущихъ колесъ и W сопротивленіе поѣзда движенію, которое, очевидно, имѣетъ знакъ $-$.

Тогда элементарная работа равна

$$dR = (Z - W)dS$$

Масса поѣзда, движущаяся поступательно, равна

---

[x] Пренебрегаемъ вращательнымъ и качательнымъ движеніемъ шатуновъ и возвратно-прямолинейнымъ движеніемъ поршней съ принадлежностями.

Проф. Н. Г. Бранденбургъ
10 мая 1913.

$M = \frac{(L+T+Q)\ 1000}{g}$, гдѣ L вѣсъ паровоза, T - вѣсъ тендера и Q - вѣсъ вагоновъ въ тоннахъ, а g-ускореніе силы тяжести въ $9{,}81\ ^{m}/_{sc^2}$. Выраженіе для конечной живой силы поступательнаго движенія есть $M\frac{v^2}{2}$, гдѣ v - скорость движенія въ $^{m}/_{sc}$, а элементарное приращеніе живой силы поступательнаго движенія поѣзда есть $d\left(M\frac{v^2}{2}\right) = Mvdv$.

Элементарное приращеніе живой силы вращающагося ската выражается аналогично $d\left(I\frac{\omega^2}{2}\right)$,

гдѣ: $I = M_1\rho^2$ есть моментъ инерціи ската около оси вращенія, M_1 масса ската, а ρ радіусъ инерціи; ω — угловая скорость вращенія, которая равна $\omega = \frac{v}{r}$

гдѣ v – скорость движенія поѣзда, а r - радіусъ ската.

Такимъ образомъ элементарное приращеніе живой силы одного ската равно

$$d\left(M_1\rho^2\frac{v^2}{2r^2}\right) = M_1\frac{\rho^2}{r^2}vdv.$$

Если распространить это разсужденіе на весь поѣздъ, т.е. на всѣ скаты, то надо взять вмѣсто M_1, ΣM_1, которую можно положить, какъ нѣкоторую часть массы всего поѣзда, т.е. $\Sigma M_1 = \alpha M$.

х/ Это α различно для груженыхъ и порожнихъ вагоновъ именно для послѣднихъ больше въ 2-2 1/2 раза. Дальше мы принимаемъ α для груженыхъ вагоновъ.

Тогда элементарное приращеніе живой силы вращенія всѣх скатовъ равно

$$\alpha \frac{\rho^2}{r^2} M v dv$$

Здѣсь множитель $\alpha \frac{\rho^2}{r^2}$ можно положить постоянным и равнымъ $\gamma = 0{,}08$ /въ среднемъ/ такъ какъ ρ и r для большинства скатовъ постоянны /для порожнихъ вагоновъ $\gamma \cong 0{,}16 - 0{,}2$/.

Полное приращеніе живой силы поѣзда представляетъ сумму приращеній для обоихъ видовъ движенія, т.е. равно

$$M(1+\gamma) v dv$$

Поэтому уравненіе движенія поѣзда напишется

$$M(1+\gamma) v dv = (Z - W) dS$$

или, имѣя въ виду, что скорость $v = \frac{dS}{dt}$ - первая производная пути по времени-и дѣлая подстановку вмѣсто M и γ ихъ значеній получимъ:

$$\frac{1000\,[L + T + Q]}{g}\ 1{,}08 \cdot \frac{dv}{dt} = (Z - W)$$

или ускореніе движенія

$$\frac{dv}{dt} = (Z - W) \frac{g}{1000 (L + T + Q) \cdot 1{,}08} \left[\frac{m}{sec^2}\right]$$

Такое выраженіе неудобно для рѣшенія практическихъ задачъ, т.к. на практикѣ длина измѣряется не метрами, а километрами /или верстами/, а время не секундами, а часами. Поэтому полученное выраженіе переведемъ въ систему мѣръ километры-часъ, для чего будемъ имѣть въ виду, что $1\left[\frac{m}{sec}\right] = 3{,}6\left[\frac{km}{h}\right]$ и слѣдовательно: $1\left[\frac{m}{sec^2}\right] = \frac{3{,}6\left[\frac{km}{h}\right]}{1/3600\,[h]} = 3{,}6 \cdot 3600\left[\frac{km}{h^2}\right]$ /. Тогда ускореніе

(~~ускореніе~~) поѣзда, выраженное въ $\left[\frac{km}{h^2}\right]$ будетъ:

$$\frac{dV}{dT} = (Z-W)\,\frac{9{,}81.\,3{,}6.\,3600}{1{,}08.\,1000.\,(L+T+Q)}\left[\frac{km}{h^2}\right] =$$

$$\simeq \frac{120\,(Z-W)}{L+T+Q}\left[\frac{km}{h^2}\right]$$

Этимъ видомъ уравненія движенія поѣзда мы и будемъ пользоваться въ дальнѣйшемъ изложеніи. °)

§ 2. Сила тяги паровоза x/

Мы должны при рѣшеніи тяговыхъ задачъ имѣть въ виду тѣ максимальныя значенія Z, которыя мы можемъ получить отъ паровоза. Здѣсь слѣдуетъ различать:

а/ Наибольшая сила тяги по сцѣпленію $Z_c \leqslant fL$, гдѣ L, сцѣпной вѣсъ паровоза, а f - коэффиціентъ сцѣпленія, который равенъ $\frac{f_0}{\psi}$, гдѣ f_0 - коэф. тренія колеса о рельсъ, а ψ - коэффиціентъ большій еди ницы и зависящій отъ отноше нія наибольшей силы тяги къ среднему значенію силы тяги /цилиндровой/ за I оборотъ.

Значенія f_0 можно принимать равнымъ $f_0 = \frac{1}{5}$ для сухихъ рельсовъ /лѣто/, 1/6 для влажныхъ рельсовъ /зима, осень/

---

x/ Подробнѣе изложено въ I-ой части курса.

°) Для отличія того V выраженнаго в $\left(\frac{km}{h}\right)$, а T в (h) пишемъ большія буквы V и T.

$^{I}/_{8}$ на стаціонныхъ путяхъ /грязь, масло/, $^{I}/_{I0}$ при гололедицѣ μ въ сырыхъ тоннеляхъ. Значенія большія $^{I}/_{5}$ принимать рискованно, хотя наибольшее значеніе ~~изъ~~ при совершенно сухихъ и чистыхъ рельсахъ и доходитъ до $^{I}/_{3}$.

Значенія коэффиціента ψ можно принимать въ среднемъ для двухцилиндровыхъ паровозовъ простого дѣйствія, паровозовъ Тандэмъ и Воклена /старое расположеніе/ ..... = I,I5

Для двухцилиндровыхъ паровозовъ Компаундъ I,20

" " " съ 4 шатунами I,I0

в/ Наибольшая цилиндровая сила тяги опредѣляется равенствомъ

$$Z_{ц} = X \cdot \alpha p_{к} \frac{d^2}{D} h$$

гдѣ:

$p_{к}$-давленіе въ котлѣ въ $atm.$

d-діаметръ цилиндра $[cm]$;[въ паровозахъ Компаунда цилин. низкаго давленія] .

D-діаметръ движ. колесъ $[m]$

h-ходъ поршня $[m]$. Для двухцилиндровыхъ паровозовъ простого дѣйствія и 4-хъ цилиндровыхъ Компаундъ X = I, для двухцилиндровыхъ Компаундъ X = $^{I}/_{2}$, для 4-хъ цилиндр. простого дѣйствія X = 2.

Предѣльное значеніе коэффиціента α при продолжительной ѣздѣ съ наполнен. 50- 60 % можно принимать:

α = 0,5 для пассажирскихъ } простого дѣйствія
0,6 " товарныхъ }

0,38-0,5 для паровозовъ Компаундъ, ~~соотвѣт-~~

соотвѣтственно отношенію объемовъ цилиндровъ отъ 3 до 2

с/ Наибольшая сила тяги по производительности котла опредѣляется уравненіемъ:

$$Z_к = \frac{270 H \frac{N_e}{H}}{V},$$

, гдѣ H -поверхность нагрѣва /$м^2$/

N_e – полезная мощность на ободѣ движущих колесъ /лош. силъ/.

Величины $\frac{N_e}{H}$ лучше всего выбирать на основаніи практическихъ таблицъ, приведенныхъ на стр.45-46 моего "Общаго расчета паровоза", изд.1912 г.

Изъ всѣхъ трехъ значеній для Z надо всегда принимать наименьшее, причемъ кромѣ того всегда $Z_к \leqslant Z_c$ для возможности поступательнаго движенія. Для удобства выбора возможной при данной скорости силы тяги Z необходимо три уравненія для Z построить въ кординатныхъ осяхъ скорости /абсциссы/ и силы тяги /ординаты/

Полученныя кривыя есть тяговыя характеристики паровоза.

§ 3. Сопротивленіе поѣзда *)

Сопротивленіе поѣзда на прямомъ и горизонтальномъ участкѣ пути, отнесенное къ тоннѣ вѣса поѣзда, зависитъ отъ скорости движенія и увеличивается вмѣстѣ съ нею. Оно слагается изъ сопротивленія воздушной среды, тренія ка-

*/ Подробнѣе см. "Общій расчетъ паровоза" изд.1912 г.

танія колесъ по рельсамъ, тренія скольженія колесъ по рельсамъ /продольное и поперечное скольженіе/ и шеекъ въ буксахъ /подшипникахъ/, потери живой силы отъ удара на стыкахъ и сопротивленія паровоза, какъ машины. Обычно для тя говыхъ расчетовъ пользуются эмпирическими формулами, выражающими удѣльное сопротивленіе поѣзда на основаніи опытныхъ данныхъ. Изъ часто употребительныхъ простѣйшаго вида формулъ приведемъ формулу Кларка

$$w\left[\frac{kg}{tn}\right] = 2{,}4 + \frac{V^2}{1300}$$

которая пригодна для малыхъ скоростей движенія /до 40-50 $\frac{km}{h}$ / и формулу завода Краусса

$$w\left[\frac{kg}{tn}\right] = \frac{V}{10}$$

пригодную для пассажирскихъ поѣздовъ при скоростяхъ движенія выше 40 $\frac{km}{h}$

Болѣе сложная зависимость предложена Боррисомъ, именно - удѣльное сопротивленіе паровоза и тендера

$$w_L\left[\frac{kg}{tn}\right] = 4 + 0{,}027\,V + 0{,}0007\,V^2$$

и вагоновъ

$$w_Q\left[\frac{kg}{tn}\right] = 1{,}5 + 0{,}012\,V + 0{,}0003\,V^2$$

Проф. Ю.В.Ломоносовъ предлагаетъ для товарныхъ вагоновъ удѣльное сопротивленіе брать равнымъ

$$w_Q\left[\frac{kg}{tn}\right] = 1{,}4 + \frac{V}{a},$$

гдѣ

a = 18 для полногрузныхъ вагоновъ

и a = 12 для порожнихъ вагоновъ.

Чтобы получить полное сопротивленіе поѣзда на прямомъ и горизонтальномъ участкѣ пути надо, очевидно, взять произведеніе изъ удѣльнаго сопротивленія на вѣсъ поѣзда въ тоннахъ, т.е.

$$W_{[kg]} = w_L\left[\frac{kg}{tn}\right]\cdot(L+T)[tn] + w_Q\left[\frac{kg}{tn}\right]\cdot Q[tn]$$

На подъемахъ сопротивленіе увеличивается при движеніи вверхъ и уменьшается при движеніи внизъ на величину составляющей ~~двигающей~~ силы тяжести параллельной пути. Удѣльное добавочное сопротивленіе отъ подъема $w_i\left[\frac{kg}{tn}\right]$, равно какъ разъ числу тысячныхъ, выражающихъ подъемъ, т.е.напр. на подъемѣ 5 ‰ удѣльное сопротивленіе равно $5\left[\frac{kg}{tn}\right]$ т.е. $w_i\left[\frac{kg}{tn}\right] = i$

Кривыя части пути, независимо отъ расположенія ихъ, всегда увеличиваютъ сопротивленіе поѣзда. Добавочное удѣльное сопротивленіе отъ прохожденія кривыхъ равно въ среднемъ

$$w_R\left[\frac{kg}{tn}\right] = \frac{350}{R}$$

гдѣ R - радіусъ кривой въ (саж.

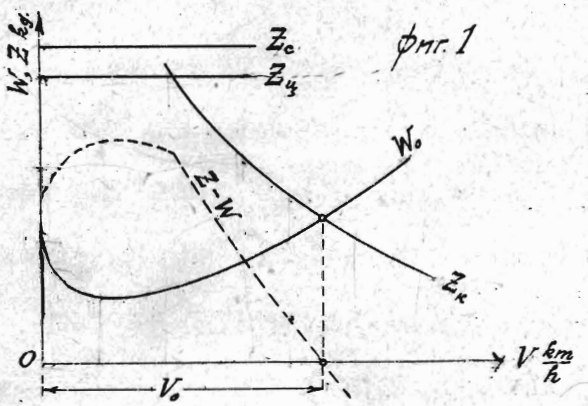
и $= \frac{760}{R}$, если R въ метрахъ.

При очень малыхъ скоростяхъ движенія сопротивленіе на самомъ дѣлѣ больше, чѣмъ получается по указаннымъ формуламъ, которыя пригодны лишь начиная со скоростей отъ 5 $\frac{km}{h}$ и выше. При скоростяхъ же близкихъ къ 0 сопротивленіе движенію поѣзда надо считать, по крайней мѣрѣ, вдвое болѣе противъ такового при скорости 5 $\frac{km}{h}$.

Въ самый моментъ трогания съ мѣста, особенно послѣ

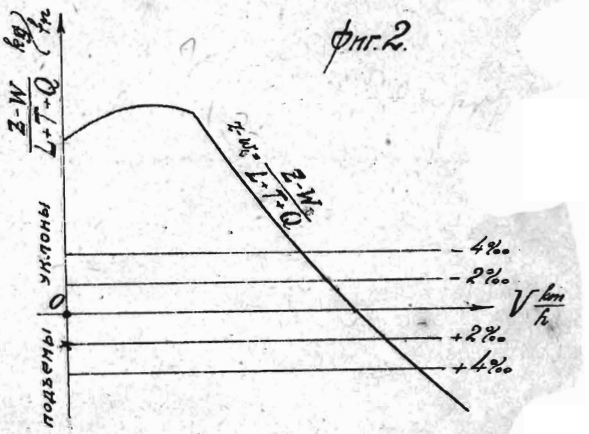
продолжительной стоянки, сопротивленіе поѣзда очень велико. По опытамъ Глинскаго на Прусскихъ ж.д. можно принимать его для паровозовъ съ тендерами въ 20 $\left[\frac{kg}{tn}\right]$, для танкъ-~~танкихъ~~ паровозовъ 26 $\left[\frac{kg}{tn}\right]$ и для вагоновъ около 12 $\left[\frac{kg}{tn}\right]$ *)

Вычисленныя для разныхъ скоростей ~~сопротивленія~~ поѣзда W могутъ быть изображены графическ кривой въ той же координатной системѣ, что и тяг овая характеристика паровоза (фиг 1.)



фиг. 1

Это даетъ возможность для любой скорости найти разность $Z-W$ и слѣдовательно и $\frac{Z-W}{L+T+Q}$, которое необходимо знать для вычисленія ускореній поѣзда по уравненію движенія поѣзда. На фиг. 2 нанесена кривая $\frac{Z-W_0}{L+T+Q}$, т.е. для горизонтальнаго и прямого участка пути. Для полученія той же величины



фиг. 2.

Z - W

*/ Въ то же время слѣдуетъ имѣть въ виду, что коэффиціентъ въ выраженіи цилиндровой силы тяги при трогани~~и~~ съ

для подъемовъ, для которыхъ, конечно, величина $\frac{Z-W_i}{L+T+Q}$ будетъ больше, мы проводимъ новыя оси абсциссъ, параллельно старой, ниже ея на величину $i\left[\frac{kg}{tn}\right]$, для уклоновъ же, на которыхъ сопротивленіе меньше, новыя оси абсциссъ лягутъ выше основной на величину $-i\left[\frac{kg}{tn}\right]$

Кривыя учитываются такъ: если добавочное сопротивленіе отъ кривой = напр. $2\left[\frac{kg}{tn}\right]$, то оно, значитъ, равно удѣльному сопротивленію отъ 2‰ подъема. Поэтому кривыя можно, по ихъ вліянію на сопротивленіе поѣзда, замѣнять эквивалентными подъемами, такъ что если наша примѣрная кривая помѣщается на 2 ‰ подъемѣ, то расчетный тяговый подъемъ для движенія вверхъ будетъ 2 ‰ + + 2 ‰ = 4 ‰, а для движенія внизъ −2 ‰ + 2 ‰ = 0 ‰, такъ что $\frac{Z-W}{L+T+Q}$ надо будетъ брать для движенія вверхъ отъ абсциссы + 4 ‰, а для движенія внизъ отъ основной абсциссы W.

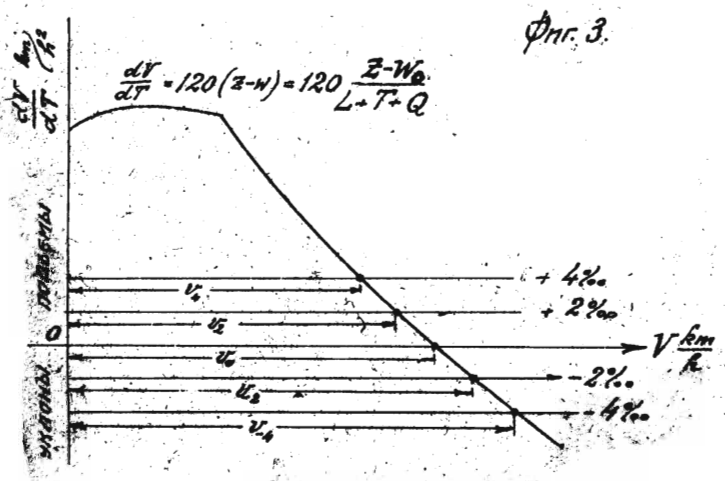
мѣста при отсѣчкѣ около 80-90 % больше указанныхъ ранѣе значеній и можетъ быть принятъ равнымъ 0,88 для паровозовъ простого дѣйствія и для пар.-Компаундъ съ приборами Маллета и Дульца·0,72, для паровозовъ Компаундъ съ клапаномъ Борриса и 0,66 пар. Компаунда съ краномъ Линднера.

§ 4. Кривыя ускореній $\frac{dV}{dT} = 120\,\frac{Z-W}{L+T+Q}\left[\frac{km}{h^2}\right]$.

Построенная нами кривая $\frac{Z-W_0}{L+T+Q} = z-w_0$ въ извѣстномъ масштабѣ представляетъ также и кривую ускореній $\frac{dV}{dT} = 120\,(z-w)\left[\frac{km}{h^2}\right]$. Именно, если кривая $/(z-w)/$ построена была въ масштабѣ I см. $= a\left[\frac{kg}{tn}\right]$ /масштабъ ординатъ/, то тотъ же I см. $= 120.a\left[\frac{km}{h^2}\right]$, если мы будемъ измѣрять ускоренія.

Новыя оси абсциссъ для подъемовъ и уклоновъ должны, однако, перемѣнить въ кривой ускореній свое мѣсто на обратное. Именно, при движеніи по уклонамъ вниз сопротивленія меньше, значитъ, ускоренія больше, а потому новыя оси абсциссъ для уклоновъ лежатъ ниже основной оси абсциссъ, а оси абсциссъ для подъемовъ лежатъ выше основной оси абсциссъ, построенной для прямой горизонтальной.

На фиг. 3 представленъ видъ кривой ускореній $\frac{dV}{dT}$ для нѣкотораго участка пути.



Фиг. 3.

§ 5. Скорость установившагося движенія. Расчетъ времени хода поѣзда по установившимся скоростямъ.

Установившимся движеніемъ мы называемъ такое, когда скорость движенія не мѣняется вслѣдствіе отсутствія ускоренія. Та-

кимъ образомъ условіе установившагося движенія заключается въ томъ, что $\frac{dV}{dT} = 0$, что съ другой стороны по уравненію движенія поѣзда приводитъ къ $Z=W$

Когда мы при разгонѣ поѣзда по горизонтальному участку пути увеличиваемъ скорость, то $[Z-W]$ все уменьшаются и наконецъ, выравниваются, тогда ускореніе дѣлается равнымъ нулю, а движеніе прододжается съ постоянной скоростью V_0 . Эту скорость мы легко находимъ изъ діаграммъ фиг. I и фиг.3. На фиг.I скорость V_0 получается какъ абсцисса точки пересѣченія кривыхъ $Z_{ц.н}$ и W_0 . На фиг.3, мы находимъ V_0 какъ абсциссу точки пересѣченія кривой $\frac{dV}{dT}$ съ основной осью абсциссъ /0% /, такъ какъ для такой скорости $\frac{dV}{dT} = 0$.

Для подъемовъ и уклоновъ соотвѣтственныя установившіяся скорости находятся на фиг.3, какъ абсциссы точекъ пересѣченія кривой $\frac{dV}{dT}$ съ соотвѣтственными осями абсциссъ, причемъ на подъемахъ, конечно, получаются меньшія скорости, а на уклонахъ - большія, чѣмъ V_0

Этимъ простымъ способомъ нахожденія установившихся скоростей можно съ успѣхомъ пользоваться для опредѣленія времени хода поѣзда по заданному тяговому участку. Для этого только примемъ предположеніе Борриса, который показалъ, что потери времени при замедленіяхъ и ускореніяхъ при переходѣ отъ одного перелома профиля къ другому составляютъ въ суммѣ 0, не считая только времени на первоначальный разгонъ при выходѣ со станціи и замедленіе при остановкѣ поѣзда у другой станціи. На эти потери времени мы должны, конечно, ввести поправку.

Для расчета времени хода мы строимъ діаграмму /фиг.3/ ускореній $\frac{dV}{dT}$ и находимъ скорости установившагося движенія для различныхъ подъемовъ и уклоновъ, проводя соотвѣтственныя новыя оси абсциссъ. Затѣмъ разсматриваемъ заданный намъ тяговой участокъ и суммируемъ длины отдѣльныхъ частей съ одинаковымъ показателемъ подъема, причемъ кривыя учитываемъ, какъ эквивалентные подъемы. Предположимъ въ результатѣ у насъ получилось, что участокъ состоитъ изъ длины l_0 съ показателемъ 0 ‰, подъема l_2 - съ показателемъ 2 ‰, подъема l_4 съ показателемъ 4 ‰ и уклона l_{-2} съ показателемъ -2 ‰. Тогда время хода безъ поправокъ получится равнымъ

$$t\,[час] = \frac{l_0}{V_0} + \frac{l_2}{V_2} + \frac{l_4}{V_4} + \frac{l_{-2}}{V_{-2}} = \sum \frac{l}{V}$$

Потомъ надо ввести поправки на первоначальный разгонъ и на замедленіе. Впослѣдствіи мы укажемъ точный способъ опредѣленія этихъ поправокъ, а теперь примемъ согласно практикѣ Прусскихъ ж.д.:

t_p на разгонъ пасс.поѣзда $1^1/2$ мин.
" " товар. " 2 "
t_m " остановку пасс. " $^1/2$ "
" " товар." 1 "

Такимъ образомъ полное время хода поѣзда должно быть дано для даннаго участка

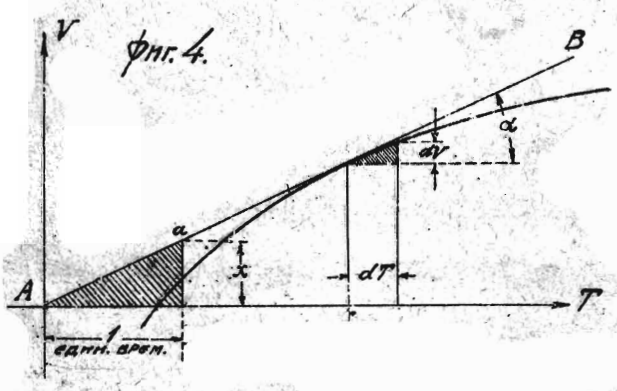
$$T\,[час] = \sum \frac{l}{V} + t_p + t_m$$

Это есть наименьшее возможное время хода поѣзда. При составленіи же росписанія надежнѣе давать еще нѣкоторый

запасъ времени, который обычно берется процентовъ въ I0- I2 отъ найденнаго.

§ 6. Построеніе кривой скорости поѣзда, какъ функціи времени /Способъ Дедуи/.

Построеніе кривой скорости. какъ функціи времени по способу Дедуи основано на извѣстномъ изъ теоретической механики свойствѣ касательной къ кривой скорости, именно tg угла наклона касательной, проведенной къ кривой скорости, какъ функціи времени, съ осью временъ выражаетъ собою величину ускоренія въ данный моментъ.

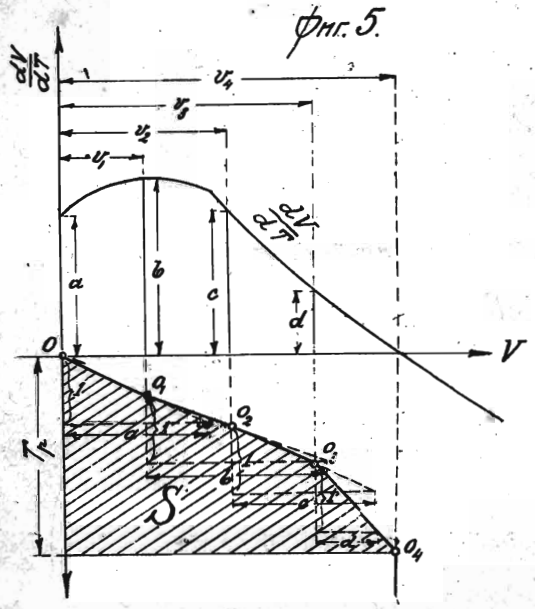


фиг. 4.

Дѣйствительно, (фиг. 4) возьмемъ кривую V въ кординатныхъ осяхъ V T и двумя безконечно-близкими ординатами, проведенными на разстояніи dT другъ отъ друга, выдѣлимъ элементъ кривой V, къ которому и проведемъ касательную AB, которая съ осью временъ дастъ $\angle\alpha$. Отъ точки A отложимъ въ направленіи теченія времени I времени и возставимъ перпендикуляръ X. Эта величина X опредѣлится изъ подобія заштрихованныхъ треугольниковъ

$$\frac{X}{I} = \frac{dV}{dT}$$ т.е. X равно ускоренію, и въ то же время $X = I.tg\alpha$. Этимъ свойствомъ мы пользуемся для по

строенія ряда касательныхъ къ ~~крайней~~ кривой скорости V, не имѣя самой кривой. Именно отъ начала построенія откладываемъ по оси временъ единицу, напр., I см., затѣмъ возставляемъ перпендикуляръ въ сторону положительныхъ скоростей V и откладываемъ $x = \frac{dV}{dT} = a$, причемъ величину $\frac{dV}{dT}$ беремъ, очевидно, изъ ранѣе построенной кривой ускореній/§ 4/. Полученную точку a соединяемъ съ началомъ построенія A и опредѣляемъ этимъ направленіе касательной $\overline{A\,a\,B}$ къ кривой скоростей V, причемъ затѣмъ самое направленіе касательной принимаемъ съ извѣстной ошибкой за кривую V. Если мы сдѣлаемъ цѣлый рядъ такихъ построеній, то въ результатѣ получимъ ломаную линію, которая и можетъ быть принята за кривую V; чѣмъ больше построеній сдѣлано, тѣмъ меньше будетъ ошибка.



фиг. 5.

На фиг.5 показано построеніе кривой разгона по данному профилю, для котораго у насъ имѣется кривая ускореній $\frac{dV}{dT}$. Точку O принимаемъ за начало построенія. Откладываемъ 1см. по оси временъ и беремъ ускореніе a при скорости безконечно близкой къ нулю, откладываемъ его по перпендикуляру, и получаемъ I-ю касательную къ кривой разгона. Далѣе про-

изводимъ построеніе для произвольно взятой скорости V_1 ; за начало построенія принимаемъ точку 0_1, пересѣченія первой касательной съ ординатой скорости V_1 .Откладываемъ опять I см. по оси временъ, возставляемъ перпендикуляръ и откладываемъ на немъ ускореніе b взятое изъ кривой ускоренія $\frac{dV}{dT}$. Получаемъ вторую касательную 0_1 0_2 . Производимъ цѣлый рядъ такихъ построеній, напр. для скоростей V_3, V_4 и, наконецъ, при скорости V_4 ускореніе равно нулю, значитъ, получается установившаяся скорость V_4 , что на кривой V выразится прямой проведенной изъ точки 0_4 параллельно оси временъ /скорость не мѣняется съ теченіемъ времени/. Абсцисса точки 0_4 — T_p въ нѣкоторомъ, пока неизвѣстномъ намъ, масштабѣ опредѣляетъ время разгона поѣзда T_p , а заштрихованная площадь S пройденный при разгонѣ путь S, ибо эта площадь представляетъ Σ произведеній изъ времени на скорость; масштабъ, въ которомъ получилось S также пока намъ неизвѣстенъ.

Опредѣлимъ теперь масштабы T и S . Мы исходили изъ кривой $\frac{dV}{dT}$, которая была построена въ масштабахъ I ст. $= a\left[\frac{km}{h}\right]$ /абсциссы/ и I ст. $= b_1\left[\frac{km}{h^2}\right]$ [ординаты]; причемъ $b_1 = 120.b\left[\frac{kg}{tn}\right]$, гдѣ $b\left[\frac{kg}{tn}\right]$ есть масштабъ кривой $\frac{Z-W}{L+T+Q}$ / Далѣе намъ извѣстно, что

ускореніе $=$ $\frac{\text{скорость}}{\text{время}}$ [x]. ~~(приращеніе скорости)~~, откуда

время $=$ $\frac{\text{Скорость}}{\text{ускореніе}}$. Слѣдовательно, I ст. ~~не оси вре-~~

x) Собственно приращенія скорости.

по оси временъ = $\frac{\text{I см. по оси скоростей}}{\text{I см. по оси ускореній}} = \frac{a\left[\frac{km}{h}\right]}{b_1\left[\frac{km}{h^2}\right]} =$

$= \frac{a}{b_1}[h]$.

асштабъ пройденнаго пути /площади S / опредѣляется тѣмъ, что путь = скорости х время , т.е. I см.^{2} площади

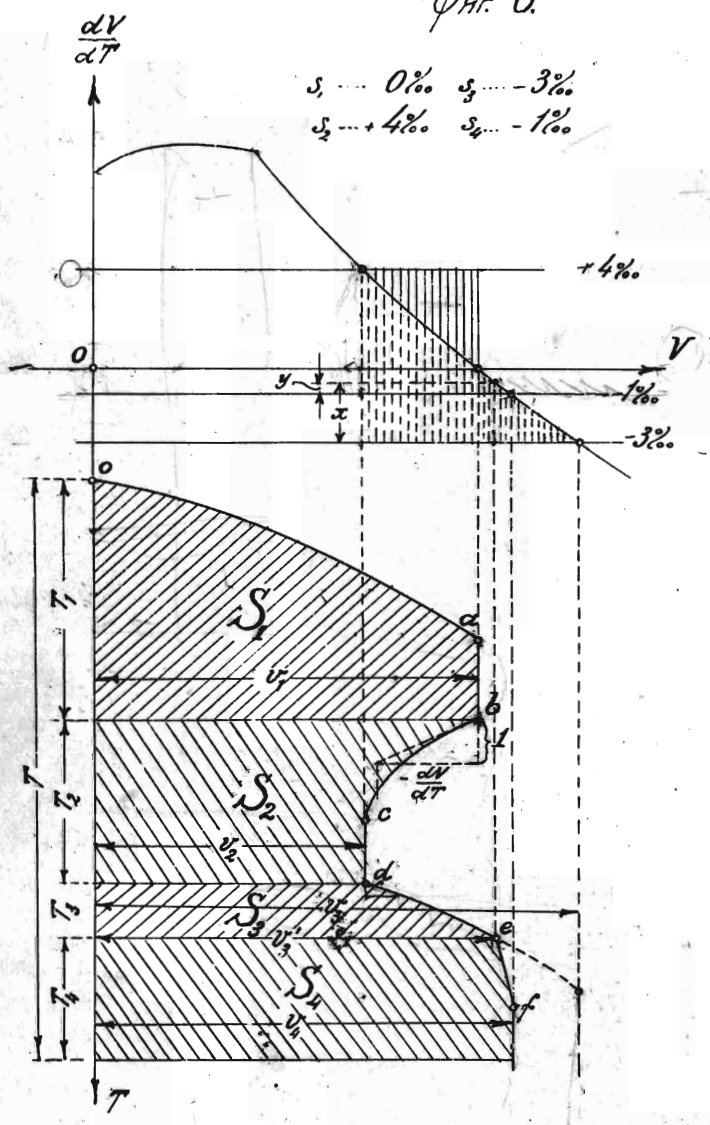
$= \frac{a}{b_1}[h] \times a\left[\frac{km}{h}\right] = \frac{a^2}{b_1}(km)$.

Опредѣливъ масштабъ, нетрудно опредѣлить какъ время разгона T , такъ и величину пройденнаго пути. Полученная кривая V даетъ также возможность опредѣлять скорость V черезъ напередъ заданное время съ момента выхода со станціи или скорость V послѣ прохожденія извѣстной длины участка. Послѣдняя задача рѣшается отпланиметровываніемъ соотвѣтственной площади S /въ масштабѣ/ отъ начала построенія 0.

На фиг. 6 данъ примѣръ пользованія методомъ Дедюи для цѣлаго тягового участка, состоящаго изъ площадки длиною S_1 , подъема 4 ‰ длиною S_2 , уклона -3 ‰ длиною S_3 и уклона - I‰ длиною S_4 . Для кривой ускореній $\frac{dV}{dT}$ проведены для подъема и уклоновъ новыя оси абсциссъ. Сначала идетъ разгонъ по площадкѣ, кривая разгона строится указаннымъ уже способомъ, ускоренія отсчитываются до оси абсциссъ 0. Достигается установившаяся скорость v_1 , если длина участка S достаточно велика. Отпланиметровываемъ площадь S_1. Съ скоростью v_1 поѣздъ вступаетъ на подъемъ 4 ‰ .Мѣняемъ ось абсциссъ съ 0 на + 4. При скорости v_1 оказывается отрицательное ускореніе, значитъ. будетъ происходить замедленіе

Проф. Шапошников

Фиг. 6.



поѣзда. Кривая замедления *bc* строится совершенно аналогично кривой разгона, только значения $-\frac{dV}{dT}$ теперь отрицательныя - откладываются въ обратную сторону /влѣво/. Замедленіе будетъ продолжаться до тѣхъ поръ, пока отрицательное ускореніе не обратится въ нуль при скорости v_2 ,которая и будетъ установившейся на подъемѣ. Отпланиметровываемъ площадь S_2 соотвѣтствующую длинѣ 2-го участка. Далѣе переходимъ на уклонъ -3‰ ,слѣдовательно, беремъ ось абсциссъ -3. Сразу оказываются положительныя ~~ус~~ нор ~~ненія~~, показанныя пунктиромъ на діаграммѣ $\frac{dV}{dT}$, т.е. начинается разгонъ; поэтому извѣстнымъ уже методомъ строимъ кривую разгона отъ точки *d* . Этотъ разгонъ при довольно большой длинѣ участка s_3 продолжался бы до скорости v_3 . Но предположимъ, что участокъ короче, такъ что отпланиметровывая его, мы получимъ въ точкѣ *e* (конецъ участка) скорость всего v_3' . Съ этою скоростью мы перейдемъ тогда на участокъ 4-ый, уклонъ-I ‰ . Ось абсциссъ -I.

При скорости v_3 ускореніе изъ X дѣлается равнымъ только y. Поэтому, хотя и будетъ продолжаться разгонъ, то кривая скорости ef пойдетъ болѣе полого до достиженія установившейся скорости v_4. Отпланиметровываемъ площадь S_4 представляющую длину 4-го участка и т.д и т.д.

Какъ результатъ построенія кривой V мы получаемъ времена прохода отдѣльныхъ участковъ: $T_1, T_2, T_3 \ldots\ldots$ и общее время хода поѣзда T.

На вопросѣ объ остановкѣ поѣзда помощью тормазовъ пока не останавливаемся, ибо онъ будетъ разобранъ болѣе подробно.

Полученная кривая V вполнѣ аналогична получаемой съ измѣрителя скорости Гаусгельтера, который чертитъ /проколами/ тоже кривую скорости, какъ функцію времени.

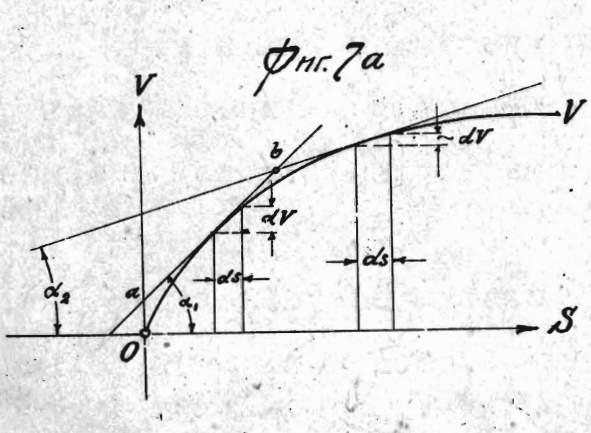
Маленькая ошибка заключается въ томъ, что мы принимали массу поѣзда сосредоточенной въ одной точкѣ, тогда какъ въ дѣйствительности масса поѣзда распредѣлена на довольно значительную длину, и когда голова поѣзда движется по 2-му участку, хвостъ еще находится на первомъ. Это влечетъ скругленіе всѣхъ переломовъ кривой скорости $V-$, переходъ отъ скорости къ скорости происходитъ очень плавно.

Если для построенія кривой $\frac{dV}{dT}$ удачно подобраны были $Z_н$ и W, то способъ опредѣленія T по Дедуи достаточно точенъ.

§ 7. Построеніе кривой скорости, какъ функціи пути /способъ, предложенный А.Липецомъ/.

Способъ, предложенный А.И.Липецомъ, заключается въ построеніи кривой скорости, какъ функціи пути, и затѣмъ кривой времени, какъ функціи пути.

Первое построеніе основано на слѣдующемъ: (фиг.7, стр.21)

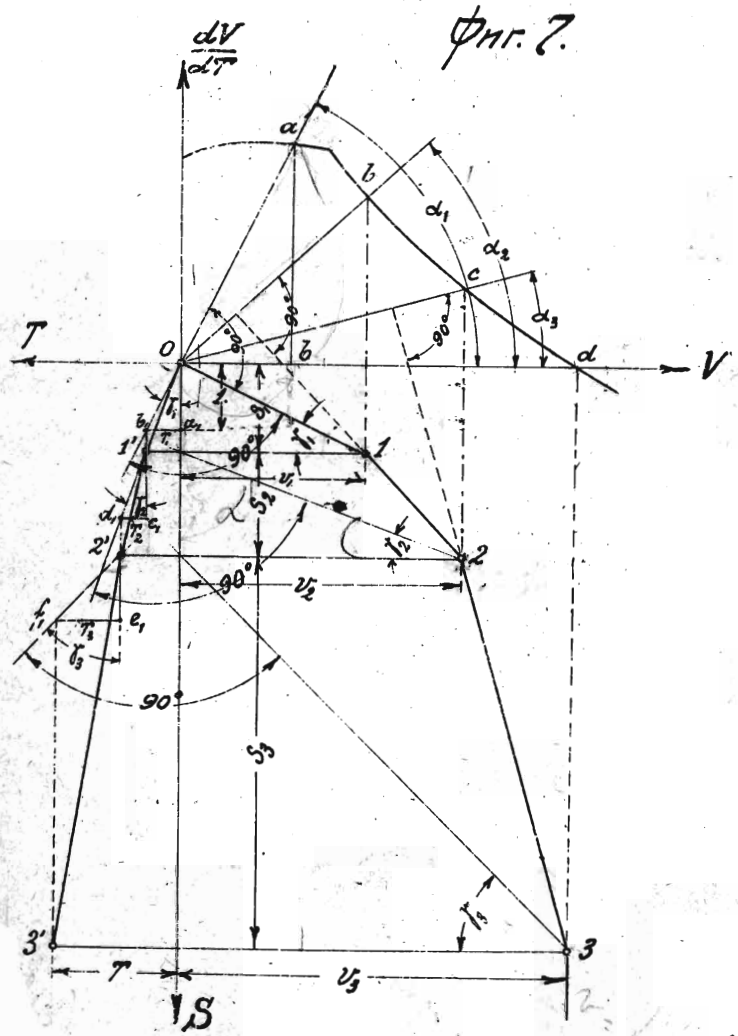


Фиг.7а

Если мы возьмемъ кривую ускореній, т.е. I20 (z-w) / и изъ начала координатъ проведемъ сѣкущую 0α то она образуетъ съ осью скоростей $\angle \alpha_1$, который опредѣляется изъ $\Delta\, 0ab$

$$tg\alpha_1 = \frac{120(z-w)}{V} = \frac{\frac{dV}{dT}}{V} = \frac{\frac{dV}{dT}}{\frac{dS}{dT}} = \frac{dV}{dS}$$

Если мы теперь изъ начала координатъ проведемъ перпендикуляръ къ сѣкущей 0α, то этотъ перпендикуляръ съ осью пути, которая является продолженіемъ оси ускореній образуетъ тотъ же уголъ α_1, что сѣкущая съ осью скоростей, т е. tg. его = тоже $\frac{dV}{dS}$, т.е. отношеніе приращенія скорости къ элементарному пути, на которомъ наблюдено данное приращеніе скорости. Иначе говоря, указанное направленіе есть касательная къ кривой скорости, построенной въ функціи пути, для скорости V, что хорошо видно изъ фиг.7а. Это обстоятельство является вполнѣ достаточнымъ для построенія кривой скорости поѣзда, какъ



функціи пути, при чемъ по оси пути можетъ быть вычерченъ профиль пути /предварительно/ въ масштабѣ, который можетъ быть заранѣе опредѣленъ по масштабамъ кривой $\frac{dV}{dT}$. Переломы профиля и опредѣляютъ моменты, когда мы должны въ кривой $\frac{dV}{dT}$ переходить къ новому началу координатъ /какъ и въ способѣ Дедуи/. Это будетъ понятно изъ нижеприведеннаго примѣра, а пока перейдемъ къ выясненію основанія для построенія кривой времени T въ функціи пути.

Мы будемъ предполагать, что каждый элементъ пути S_1; S_2,..... и т.д. проходится съ установившейся скоростью, соотвѣтствующей концу движенія по данному элементу *), т.е. по элементу S_1 со скоростью v_1, по элементу S_2 со скоростью v_2 и т.д. Этимъ допущеніемъ мы дѣлаемъ, конечно, ошибку, тѣмъ менѣе значительную, чѣмъ чаще взяты у насъ

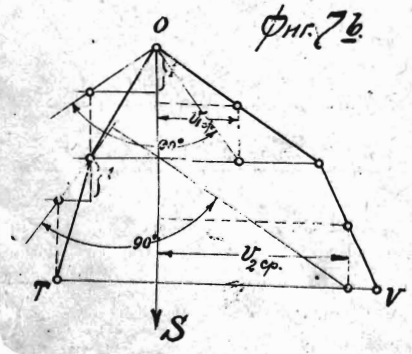
*) См. выноску на стр. 22.

сѣкущія Oa, Ob ... и т.д. При достаточно большомъ числѣ сѣкущихъ, т.е. при достаточно малыхъ s_1, s_2 ..... и т.д., ошибка будетъ практически ничтожна.

Если сдѣлать указанное допущеніе, то время хода по участку s_1 выразится $T_1 = \frac{s_1}{v_1} = tg\gamma_1 = tg(90^\circ - \alpha_1)$ Поэтому отъ начала координатъ 0 проводимъ линію подъ угломъ γ_1 къ оси S /она перпендикулярна $O1$; откладываемъ по оси S единицу Oa_1 = I ст., возставляемъ перпендикуляръ до пересѣченія съ Ob_1, получаемъ a_1b_1, которое какъ разъ равно $tg\gamma_1$, ибо $\frac{a_1b_1}{1} = tg\gamma_1$. Поэтому $a_1b_1 = T_1$. Эту величину проектируемъ на перпендикуляръ къ оси S, проведенный для конца участка s_1, полученную точку $1'$ соединяемъ съ 0. Линія 0I есть кривая времени для участка s_1. Для нахожденія T_2 для участка s_2 дѣлаемъ аналогичное построеніе, принимая за начало построенія точку I'. Полагая скорость движенія по участку s_2 равной v_2, время $T_2 = \frac{s_2}{v_2} = tg\gamma_2$ Поэтому при точкѣ $1'$ строимъ уголъ γ_2, откладываемъ b_1c_1 = I ст. и находимъ $T_2 = c_1d_1$. Точку d_1 проектируемъ на линію $2-2'$ и т.д. Далѣе аналогично получа

---

*/ На фиг. 7в дано аналогичное построеніе по среднимъ скоростямъ движенія $V_{ср.}$ на отдѣльныхъ элементахъ пути.



Фиг. 7в

емъ $e_1 f_1 = T_3$ и полное время хода по тремъ участкамъ S_1, S_2 и S_3 равное T.

Всѣ построенія идутъ у насъ чисто механически по заданной кривой $\frac{dV}{dT}$, масштабы которой извѣстны, именно, I ст. по абсциссамъ $\left[\text{ось } V\right] = a\left[\frac{km}{h}\right]$ и I ст. по ординатамъ $\left[\text{ось } \frac{dV}{dT}\right] = 120\, b\left[\frac{km}{h^2}\right]$ (если $z\text{-}w$ было вычерчено въ масштабѣ I ст. $= b\left[\frac{kg}{tn}\right]$). Масштабы же пути S, времени T опредѣляются само собою, какъ ниже указано.

Масштабъ времени: время $=$ $\frac{\text{скорость}}{\text{ускореніе}}$, значитъ, I ст. по оси $T = \frac{\text{I ст. по оси } V}{\text{I ст. по оси } \frac{dV}{dT}}$, т.е. I ст. по оси $T =$

$$= \frac{a\left[\frac{km}{h}\right]}{120\, b\left[\frac{km}{h^2}\right]} = \frac{a}{120\, b}\,[h.]$$

Масштабъ пути: путь = скорость х время, т.е.

$$\text{I ст. по оси } S = \underbrace{\frac{(\text{I ст. по оси } V)}{\text{I ст. по оси } T}}_{\text{I ст. по оси } T} \times (\text{I ст. по оси } T) =$$

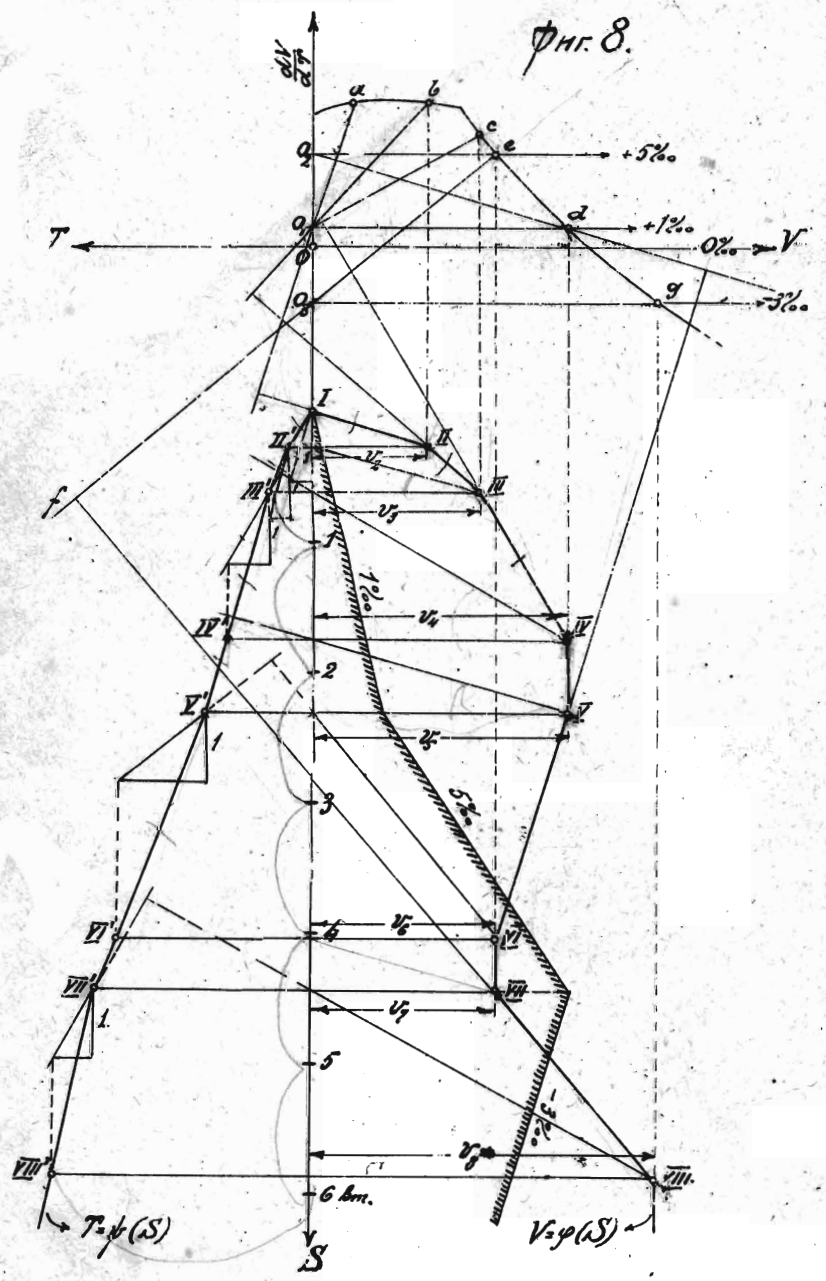
$$= a\left[\frac{km}{h}\right] \cdot \frac{a}{120\, b}\,[h] = \frac{a^2}{120\, b}\,km.$$

Напримѣръ, если $a = 5\ \frac{km}{h}$ и $b = \text{I}\ \frac{kg}{tn}$, то I ст. по оси времени T равенъ $\frac{5}{120} = \frac{\text{I}}{24}$ часа, а I ст. по оси пути $S = \frac{25}{120}\,km = \frac{\text{I}}{4{,}8}\,km$, или 4,8 ~~cm~~ по оси $S = \text{I}\ km$, что даетъ возможность намѣтить заранѣе по оси S километры пути и по нимъ вычерчить профиль пути, что въ свою ~~очередь~~ придаетъ большую нагляд-

ность методу.

Ниже, на фиг.8 , данъ примѣръ построенія кривыхъ V и T въ функціи пути S по указанному способу. Способы построенія уже были описаны, поэтому здѣсь сдѣлано только нѣсколько существенныхъ замѣчаній. Кривую $\frac{dV}{dT}$ удобно строить въ масштабахъ $a = 5\ \frac{km}{h}$ и $b = 1\ \frac{m}{tn}$. Первую сѣкущую Oa необходимо брать весьма близкой къ оси ординатъ, т.е. для самаго начала движенія. x/ Проводятся оси абсциссъ для подъемовъ и уклоновъ; встрѣчающихся на данномъ участ

Фиг. 8.



---

x/ Здѣсь допускается ничтожная ошибка, ибо для перваго момента слѣдовало бы брать вмѣсто сѣкущей Oa ось ординатъ т.е. въ первый моментъ движенія скорость возрастаетъ съ увеличеніемъ пути безконечно.

кѣ - /способъ указанъ въ § 4, фиг.3/.

Опредѣляются по а и ъ масштабы пути S и времени T, именно, I см. по оси $T = \frac{a}{120b}$ - $[h]$ и I см по оси $S = \frac{a^2}{120b}$ $[km]$. Имѣя масштабъ S, строимъ профиль пути, выбравъ произвольный масштабъ для ординатъ. Кривыя при этомъ переводятся въ эквивалентные подъемы.

Для даннаго профиля на фиг.8 разгонъ происходитъ на подъемѣ I‰ , пользуемся поэтому осью абсциссъ 0_1 I ‰ . Скорость v_4 установилась въ точкѣ IV , остальную часть I-го участка проходимъ съ тою же скоростью v_4 до точки V по перелому профиля. Переходимъ поэтому дальше на новую ось абсциссъ для подъема 5 ‰ - 0_2 -5 ‰ . Ускоренія становятся отрицательными, первая сѣкущая есть $0_2 d$. . При точкѣ V производимъ обычное построеніе. Въ точкѣ VI устанавливается скорость v_6 ,съ которой поѣздъ движется до перелома профиля въ точкѣ VII. Новая ось абсциссъ будетъ $0_3 g$, ускоренія становятся положительными, первая сѣкущая будетъ $f 0_3 e$, по которой и строимъ VII-VIII, гдѣ установилась скорость v_8 Такимъ образомъ кривая скорости получается, какъ функція пути или профиля, вычерченнаго заранѣе въ вычисленномъ масштабѣ.

Въ построеніи кривой времени $T = \psi(S)$ никакихъ особенностей нѣтъ. Напоминаемъ только, что построеніе кривой T сдѣлано ~~слѣдовано~~ въ предположеніи, что элементы пути проходятся съ установившейся скоростью, равною дѣй

ствительной скорости въ концѣ соотвѣтственнаго элемен та пути. Поэтому для установившейся скорости v_y (точки IУ-У въ кривой V) законъ измѣненія скорости (Ш-У въ кривой T) остается тотъ же, что и для предыдуща го элемента пути /точки Ш-IУ/, т.е.кривая T сохраня етъ тотъ же наклонъ къ оси S

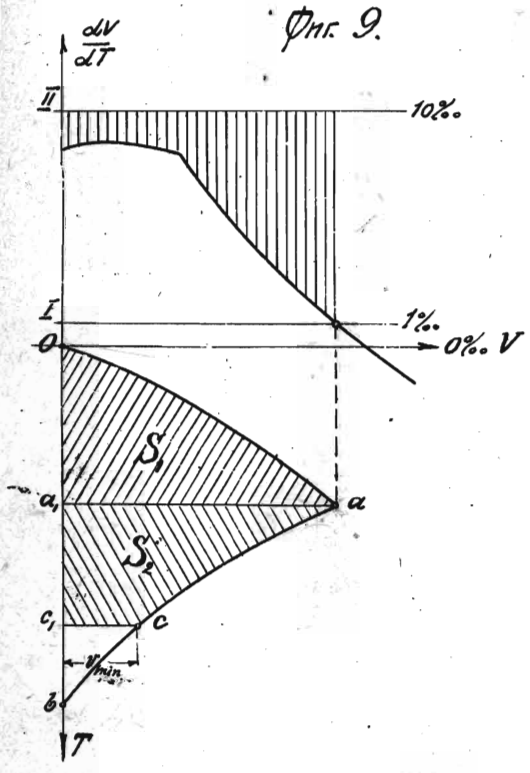
Способъ построенія кривой $V = \varphi(S)$ во многихъ случаяхъ практики удобнѣе способа Дедуи, напр., при опредѣленіи возможности преодолѣнія подъема живою силою поѣзда, построенія кривыхъ торможенія и т.д.,что въ своемъ мѣстѣ будетъ еще указано.

§ 8. Подъемъ, преодолѣваемый живою силою поѣзда.

Въ практикѣ часто бываютъ случаи, когда желательно преодолѣть подъемъ /найбольшій/ не при установившейся скорости движенія, которая для тяжелаго состава получается равной или меньше нуля, а съ разгона. Возможность преодолѣнія подъема легко опредѣляется графически и по способу Дедуи и по способу Липеуа, въ послѣднемъ случаѣ болѣе наглядно. Разсмотримъ оба рѣшенія.

а/ По способу Дедуи. фиг.9/

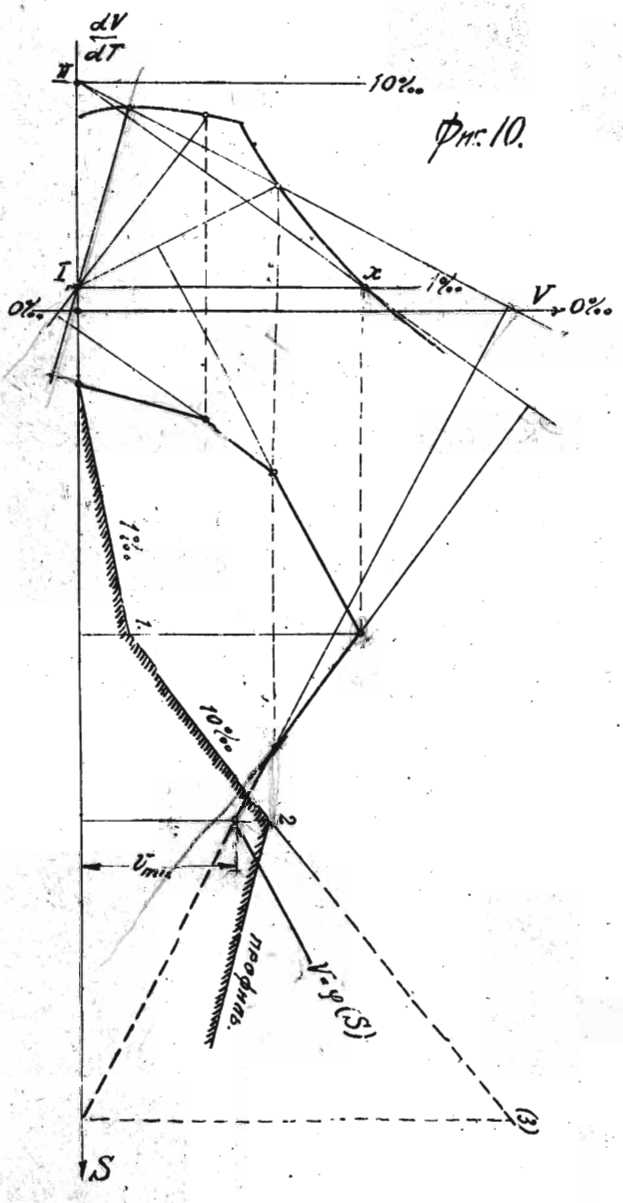
Задана кривая $\frac{dV}{dT}$. и намѣчены оси абсциссъ для перваго участка въ I ‰ -I и второго участка, который нужно преодолѣть съ разгона II /IO ‰/ Пусть длина I-го участка S_1 /площадь S_1 /, какъ разъ такова, что поѣздъ входитъ на подъемъ IO ‰ съ устано



Фиг. 9.

вившейся скоростью равной aa_1. Ускоренія дѣлаются немедленно отрицательными /заштрихованы на кривой $\frac{dV}{dT}$ вертикальными штрихами/, скорость начинаетъ падать и доходитъ до значенія = 0 въ точкѣ b. Отпланиметруемъ площадь S_2 равную длинѣ второго участка; если при этомъ площадь S_2 замкнется прямой CC, и дастъ скорость $V_{min.}$ не ниже наименьшей допустимой, то значитъ, что данный подъемъ можно преодолѣвать съ разгона, несмотря на то, что съ даннымъ поѣздомъ паровозъ не можетъ двигаться съ установившейся скоростью.

в/ По способу Липец(ец) /фиг.10/. Дана кривая $\frac{dV}{dT}$ для даннаго паровоза и поѣзда. Вычисляемъ масштабы для S и строимъ профиль пути, послѣ чего строимъ кривую разгона по первому участку и кривую замедленія по второму участку /10 % /, причемъ мѣняемъ осъ абсциссъ съ I на II и первую сѣкущую для второго участка /отрицательныя ускоренія/ проводимъ х II. На кривую скорости $V = \varphi(S)$ проектируемъ окончаніе 10 % подъема /переходъ его къ болѣе легкому профилю/. Если при этомъ получается скорость V_{min} не менѣе наименьшей допустимой, то преодолѣніе подъема съ разгона можно допустить. Если же подъемъ 10 % былъ бы длиннѣе, напр., тянулся бы и до точки /3/,



то скорость сдѣлалась бы равной нулю, т.е. поѣздъ остановился бы самъ собою.

Къ указаннымъ провѣркамъ приступаютъ тогда, когда желаютъ отправить поѣздъ вѣса Q, значительно больша́го, чѣмъ *расчетный* вѣсъ поѣзда для даннаго паровоза /по установившимся скоростямъ/, т.е. когда хотятъ избѣжать двойной тяги /2 паровоза/ или употребленія на разсматриваемомъ подъемѣ особо сильныхъ паровозовъ. Къ такой же провѣркѣ прибѣгаемъ, если паровозы дорогá расчитаны, скажемъ, на 8 ‰ подъема и вся дорога имѣетъ 8 ‰ подъемъ какъ предѣльный, но въ силу мѣстныхъ условій допущена короткая вставка съ показателемъ подъема выше предѣльнаго /напр. 12 ‰/.

Какъ найменьшую допустимую скорость V_{min} при преодолѣніи подъема съ разгона слѣдуетъ считать 8-10 $\frac{km}{h}$ такъ какъ при сильномъ вѣтрѣ, гололедицѣ и т.п. она можетъ еще замѣтно пасть. Въ случаѣ же остановки поѣзда на подъемѣ, преодолѣваемомъ съ разгона, придется требо-

вать резервный паровозъ, ибо поѣздный не сможетъ взять поѣздъ съ мѣста. Въ этомъ случаѣ заключается извѣстная рискованность допущенія такого движенія.

§ 9. Потеря времени при первоначальномъ разгонѣ поѣзда и при его остановкѣ.

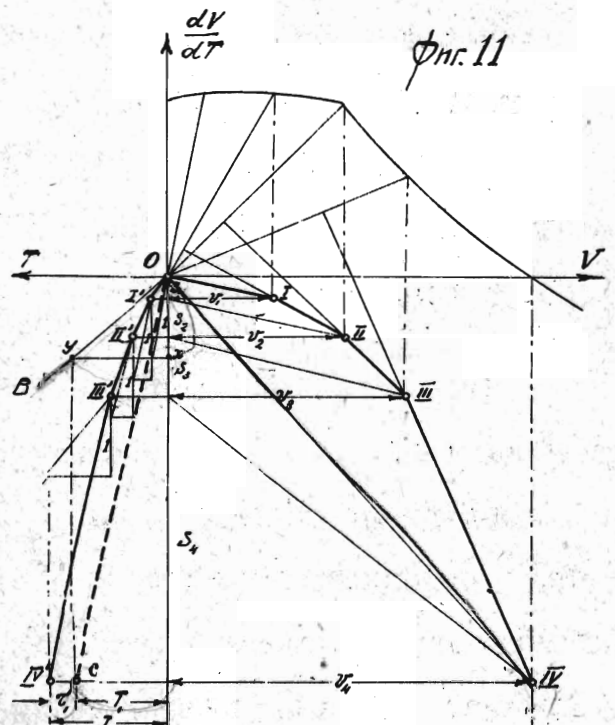
Въ § 5 указанъ способъ расчета времени хода по установившимся скоростямъ, причемъ указано, что къ полученному времени необходимо прибавлять прибавки τ_1 и τ_2 : потери времени τ_1 при первоначальномъ разгонѣ и τ_2 при остановкѣ поѣзда. Эти прибавки могутъ быть взяты или по даннымъ практики /цифры Борриса/ или получены графически изъ кривой $V = \varphi(S)$ по способу Липеца.

По Боррису:

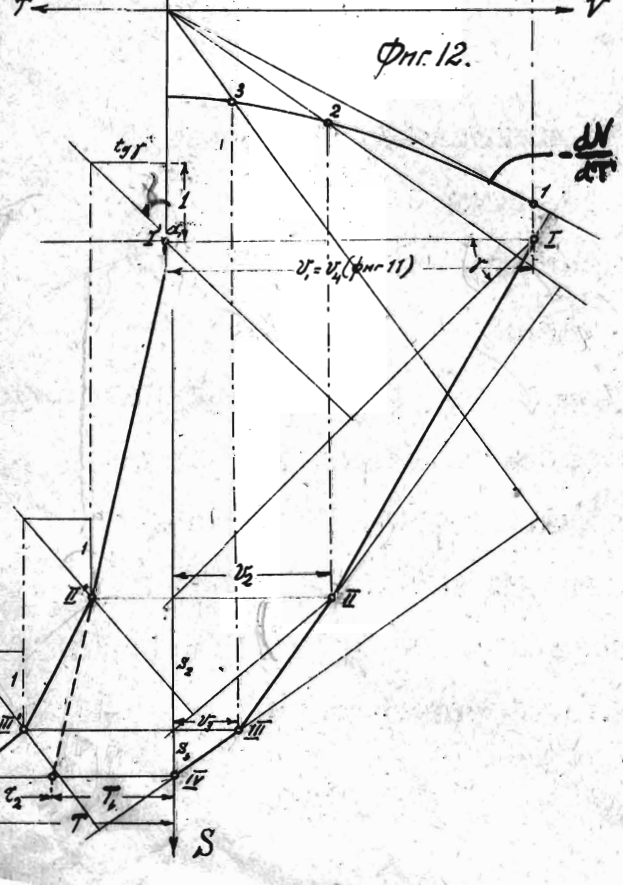
τ_1 = 1 1/2 мин. для пассажирскихъ поѣздовъ
2 мин. для товарныхъ -
τ_2 = 1/2 мин. для пассажирскихъ "
1 мин. для товарныхъ "

По способу Липеца прибавки τ_1 и τ_2 получаются слѣдующимъ образомъ, каждый разъ отдѣльно для даннаго профиля и даннаго состава поѣзда и типа паровоза.

Опредѣленіе τ_1 при разгонѣ показано на фиг. II. Строимъ обычнымъ образомъ кривыя V и T въ функціи пути S. Какъ результатъ, получаемъ время разгона T



Фиг. 11



Фиг. 12.

Если бы мы весь путь S прошли ~~бы~~ съ равномѣрною скоростью v_4, то отношеніе $\frac{S}{v_4}$ дало бы какъ разъ время хода для установившейся скорости v_4. Графически это время T_1 получимъ такъ: проводимъ линію $O\overline{IV}$ и перпендикуляръ къ ней OB, откладываемъ отъ O единицу и находимъ перпендикулярный къ S отрѣзокъ $xy = tg(BO\frac{x}{IV}) = T_1$. Проектируемъ y на $\overline{IV}$-$\overline{IV}'$ причемъ получаемъ непосредственно $\tau_1 = T - T_1$. т.е. потерю времени, происходящую оттого, что участокъ $S = \Sigma s$ проходится не съ постоянною скоростью v_4, а скорость перемѣнна и возрастаетъ отъ 0 до v_4. Та же самая величина будетъ найдена, если изъ O проведемъ линію OC параллельно III'-IV'

изъ кривой T. При ~~уеке~~ остановкѣ поѣзда ускореніе имѣетъ знакъ —, ибо сила тяги = 0 /регуляторъ закрытъ/ и дѣйствуетъ лишь сопротивленіе поѣзда. Съ тормазами пока не считаемся. Форма кривой $-\frac{dV}{dT}$ показана на фиг.I2.

По этой кривой строимъ обычнымъ способомъ кривую замедленія до полной остановки, т.е. до $V=0$ что получается въ точкѣ IV пересѣченія кривой V съ осью S. Отъ точки a_1, соотвѣтствующей a_1, начинаемъ построеніе кривой времени T, считая, что элементы пути проходятся съ установившимися скоростями, равными скоростямъ въ началѣ каждаго элемента, т.е. для перваго элемента S_1 опреляемъ графически T по скорости v_2 и т.д. ж/

ж/ Вслѣдствіе посчета времени по скорости v_0 /~~конечной~~ начальной/, а не v_2 /~~начальной~~ конечной/ при нахожденіи T необходимо I см откладывать въ обратную сторону /т.е.вверхъ отъ начала построенія/

Въ результатѣ получаемъ время T, потраченное на остановку ~~или~~ отъ скорости v_1 /до 0/. Если же весь участокъ S былъ бы пройденъ съ начальной скоростью v_1, то время хода выразилось бы T_1, которое получится, если мы отрѣзокъ $a_1 П'$ продолжимъ до пересѣченія съ линіей IУ-IV'. Тогда какъ разность получаемъ потерю времени $\tau_2 = T - T_1$

Ввиду того, что и практика и теорія показываютъ, что имѣютъ значеніе лишь начальная и конечная поправки τ_1 и τ_2 и суммой потерь и выигрышей времени при переходѣ отъ профиля къ профилю на перегонѣ можно пренебречь, не дѣлая большой ошибки, то указаннымъ способомъ нахожденія τ_1 и τ_2 очень удобно пользоваться совмѣстно съ расчетомъ времени хода по перегонамъ по установившимся скоростямъ, тѣмъ болѣе, что τ_1 и τ_2 для разныхъ паровозовъ, разныхъ составовъ, разныхъ профилей могутъ быть вычислены и сведены въ таблицу заранѣе.

§ 10. Законъ торможенія. Сила торможенія.

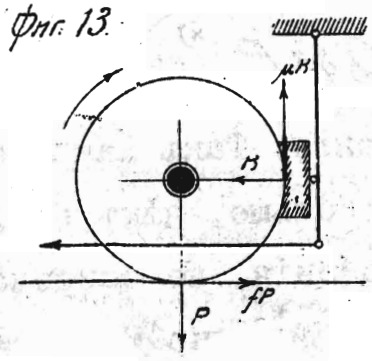
Тормазныя тяговыя задачи.

Устройствс и назначеніе тормазовъ выяснено въ соотвѣтствующихъ § § курса; здѣсь же мы останавливаемся лишь на законѣ торможенія и ведичинѣ тормазной силы.

а/ Главный законъ торможенія.

Если мы пренебрежемъ величиною силы тренія на шейкахъ оси, величиною сопротивленія перекатыванію колесъ и т.п., которыя сравнительно малы съ другими силами, дѣйствующими при торможеніи /сила сцѣпленія колесъ съ рельсомъ и сила нажатіи колодки на колесо/, то не сдѣлаемъ большой ошибки.

Такъ какъ колесо давитъ на рельсъ съ силою P ,то ~~то~~ въ наличіи имѣется сила сцѣпленія колеса съ рельсомъ равная fP , являющаяся причиной вращательнаго движенія вагоннаго колеса /въ отсутствіи силы fP вагонное колесо ползло бы по рельсу; подобный примѣръ можно видѣть при движеніи телѣгъ по обледенѣлой мостовой/



Фиг. 13.

Вслѣдствіе же прижатія колодки къ колесу съ силою K развивается сила тренія равная μK . Если сила $\mu K > fP$, то очевидно, сцѣпленіе между колесомъ и рельсомъ будетъ нарушено: колесо остановится въ своемъ вращательномъ движеніи, сцѣпится съ колодкой и поползетъ по рельсу к/ . Такой случай невыго-

---

к/ Нѣкоторыми авторами это явленіе называется "буксованіемъ", что неправильно: буксованіе есть вращеніе колеса при отсутствіи сцѣпленія съ рельсомъ,т.е. не сопровождается поступательнымъ движеніемъ. Здѣсь же та же причина -потеря сцѣпленія съ рельсомъ - но поступательное движеніе колеса по рельсу. "Буксовать" можетъ только движущееся колесо, ползти - только тормазное.

Прод. Цыбарминовъ

день, какъ въ смыслѣ тормазнаго эффекта /т.е.силы торможенія/, такъ и потому, что бандажъ крайне неправильно изнашивается /снашивается площадка/, что служитъ причиной ударовъ при вращеніи колеса, т.е. повышенія сопротивленія движенію и расшатыванія подвижного состава и неправильнаго износа рельсъ. Для того же, чтобы ползеніе колеса не происходило, очевидно слѣдуетъ дѣлать

$$\mu K < fP \quad \text{или:}$$

$$K < \frac{f}{\mu} P, \quad \text{или} \quad K < 0{,}83 P \text{ *)}$$

Это и есть главный законъ торможенія. Такъ какъ тормазная сила μK можетъ быть тѣмъ больше, чѣмъ больше f, то для возможности сильнаго торможенія, не сопровождающагося, однако, ползеніемъ колесъ, выгодно увеличивать f подсыпаніемъ песка подъ колеса. Такой способъ примѣняется очень часто на городскихъ дорогахъ и трамваяхъ, гдѣ быстрая остановка имѣетъ еще большее значеніе, чѣмъ на нормальныхъ жел. дорогахъ.

в/ Сила торможенія.

На основаніи предыдущаго можно положить $K = \vartheta P$ гдѣ въ среднемъ берутъ $\vartheta = 0{,}8$ для вагоновъ /считая отъ вѣса брутто, ибо тор-

---

*/ 0,83 есть среднее значеніе величины $\frac{f}{\mu}$ при обычныхъ условіяхъ.

мазные вагоны грузятся въ первую очередь ϑ 0,4 для паровозныхъ тормазныхъ осей; ϑ = 0,8 для тендерныхъ осей при 1/2 запаса воды и топлива. P — обозначаетъ нагрузку оси на рельсъ. Поэтому тормазная сила /добавочное сопротивленіе/ для одной оси поѣзда будетъ равна

$$x = \mu \vartheta P$$

гдѣ μ коэффиціентъ тренія колодки о колесо. Коэффиціентъ тренія μ, какъ показали серьезные опыты Гальтона на англійскихъ ж.д., сильно уменьшается съ увеличеніемъ скорости движенія вагона. Согласно даннымъ Дуаэна, можно принимать довольно простую линейную зависимость, вида $\mu = a - bV$, именно:

$$\mu = 0{,}27 - 0{,}002\,V\left(\frac{km}{h}\right)$$

Это показываетъ, что сила торможенія при большихъ скоростяхъ движенія будетъ меньше, чѣмъ при малыхъ, что вызываетъ серьезныя затрудненія для правильнаго устройства торможенія курьерскихъ поѣздовъ, для которыхъ тормазной путь становится очень длиненъ. Чтобы устранить это неудобство, фирмой Вестингаузъ предложено особое устройство тормазовъ для курьерскихъ поѣздовъ. Въ немъ при торможеніи при большихъ скоростяхъ дѣйствуютъ въ каждомъ вагонѣ 2 тормазныхъ циличдра, вызывая большое K, такъ что скорость энергично падаетъ. При нѣкоторой же скорости, при которой становится уже всзможнымъ ползеніе колесъ вслѣдствіе возраста-

нія μ , одинъ изъ цилиндровъ выключается автоматиче ски изъ дѣйствія и сила нажатія колодокъ K уменьшается ~~on~~ /двухступенчатое торможеніе/.

Суммируя величину тормазной силы $x = \mu . \vartheta . P$ по всѣмъ тормазнымъ осямъ поѣзда, получимъ полную тормозящую силу

$$X = \Sigma x = \mu . \vartheta . \Sigma P_{торм.}$$

или

$$X = \mu \vartheta \frac{\Sigma P_m}{L + T + Q} . (L + T + Q).$$

Здѣсь дробь $\frac{\Sigma P_m}{L+T+Q}$ выражаетъ отношеніе нагруз ки тормазныхъ осей /т.наз.тормазный вѣсъ/ ко всему вѣсу поѣзда и можетъ быть, очевидно, замѣнена отношеніемъ $\frac{n_m}{n}$ т.е. отношеніемъ числа тормазныхъ осей въ поѣздѣ n_m къ полному числу осей въ поѣздѣ n . Иначе говоря,

$$\frac{\Sigma P_m}{L+T+Q} = \frac{n_m}{n} = z_m ,$$

гдѣ z_m называется тормазнымъ коэффиціентомъ, величина же $100\, z_m$ есть коли чество тормазовъ въ поѣздѣ, выраженное въ % стъ общаго числа осей — тормазный процентъ. Итакъ, окончательно си- ла торможенія будетъ

$$X = \mu \vartheta z_m . (L + T + Q) \; [tn] \; ^{x)}$$

---

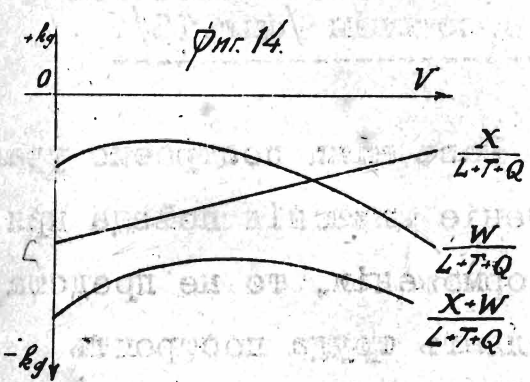
x/ Если L, T и Q выражено въ тоннахъ; для полученія Хвъ кg. надо умножить значеніе его на 1000; ϑ берется обычно среднимъ для всего поѣзда. Практически можно брать $\vartheta = 0,6 - 0,75$

с/ Уравненіе движенія поѣзда при торможеніи.

Общій видъ уравненія движенія поѣзда былъ нами най денъ въ видѣ $$\frac{dV}{dT} = \frac{120}{L+T+Q}(Z-W)$$

Обычно при торможеніи регуляторъ закрытъ, т.е. паръ совершенно не поступаетъ въ машину, а потому можно полагать $Z=0$ [к/]. Къ силѣ же сопротивленія W прибавляется еще добавочное сопротивленіе - сила торможенія X знакъ которой будетъ тоже, очевидно, минусъ, ибо она дѣйствуетъ въ сторону обратную движенію поѣзда. Поэтому уравненіе движенія выразится $$\frac{dV}{dT} = -\frac{120}{L+T+Q}(W+X)\left[\frac{km}{h^2}\right]$$

Чтобы построить это уравненіе графически /фиг.14 / строятъ ниже оси абсциссъ V въ принятомъ масштабѣ сначала кривую удѣльнаго сопротивленія $\frac{W}{L+T+Q}$ а затѣмъ удѣльной тормазной силы $\frac{X}{L+T+Q}$ а затѣмъ ихъ суммируютъ въ кривую $\frac{W+X}{L+T+Q}$. Та же самая кривая въ другомъ только масштабѣ будетъ изображать и ве-



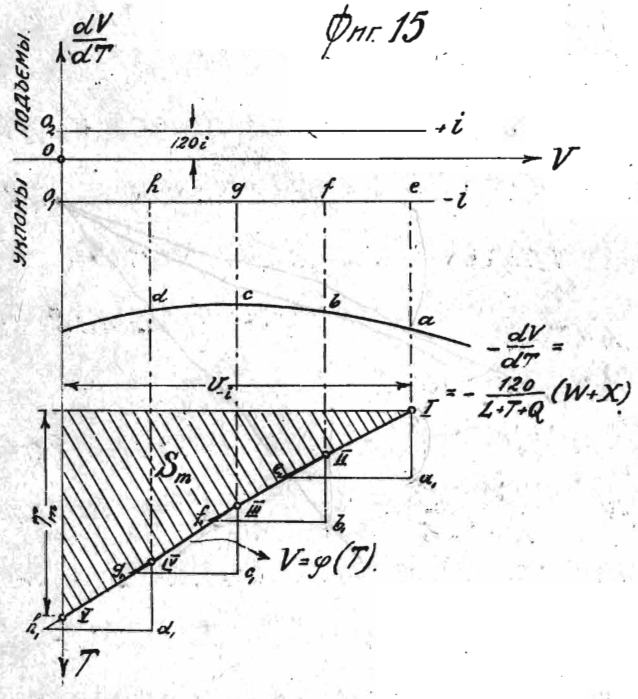
Фиг. 14.

к/ Исключеніе бываетъ только, если при автоматическихъ воздушныхъ тормазахъ произойдетъ разрывъ поѣзда или послѣдуетъ торможеніе кондукторскимъ краномъ. Тогда до тѣхъ поръ,какъ машинистъ не замѣтитъ начавшагося торможенія и не закроетъ регуляторъ - Z можетъ быть больше нуля.

личину $-\frac{dV}{dT}$. Именно, если суммарная кривая $\frac{W+X}{L+T+Q}$ построена въ масштабѣ I см. $= b\left[\frac{kg}{Tn}\right]$, то ускоренія изъ той же кривой должны быть взяты въ масштабѣ $120\,b\left[\frac{km}{h^2}\right]$ (для горизонтальнаго участка)

Построеніе это производятъ для уклоновъ же и подъемовъ проводятъ новыя оси абсциссъ на разстояніи $120\,i$, взятомъ, конечно въ масштабѣ ускореній, причемъ на подъемахъ отрицательныя ускоренія будутъ больше, ибо сопротивленіе W_i больше W_o . Поэтому новыя оси абсциссъ /фиг.15/ для подъемовъ лежатъ выше основной оси OV а для уклоновъ ниже ея.

Фиг.15



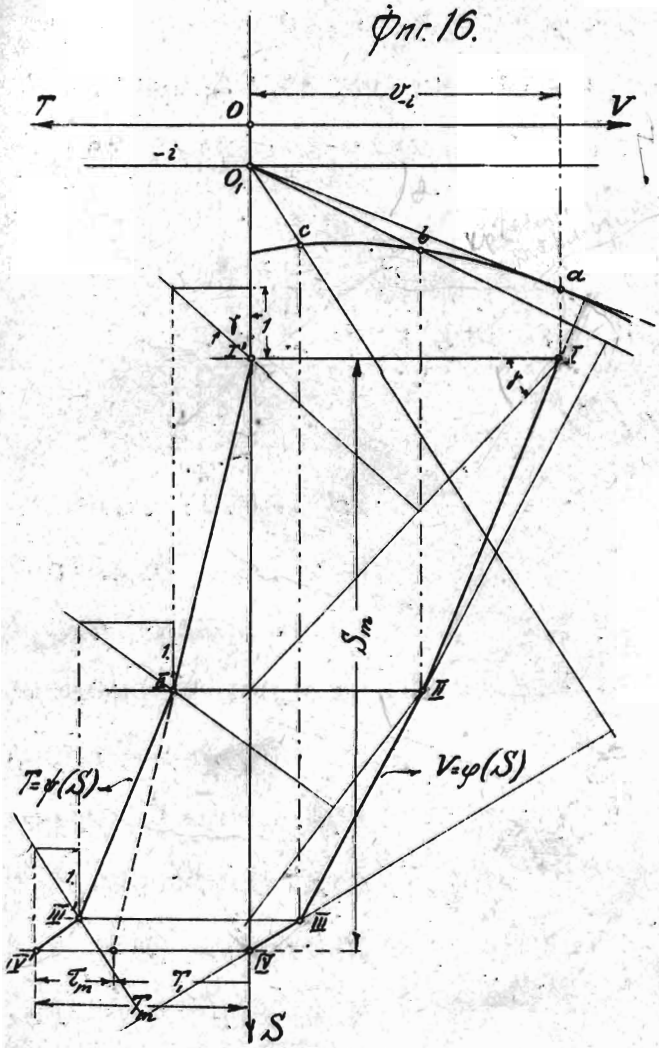
d) Построеніе кривой скорости $V=\varphi(T)$ при торможеніи /фиг.15/.

Разъ нами построено уравненіе движенія поѣзда при торможеніи, то не представляетъ труда построить $V=\varphi(T)$ при торможеніи. Методъ построенія остается буквально тотъ же, что при построеніи кривыхъ разгона и замедленія. На фиг.15 показано построеніе кривой V начиная отъ скорости v_i , которую мы получили, положимъ, при движеніи внизъ по уклону съ показателемъ $-i\%$, пользуемся поэтому осью абсциссъ $0_1-i\%$. Кривую V стро

имъ, пока она не пересѣчетъ ось временъ T , когда скорость $V = 0$, т.е. произошла остановка. Абсцисса T_m даетъ время торможенія, а площадь діаграммы – S_m – тормазный путь, т.е. путь, пройденный поѣздомъ отъ начала торможенія до полной остановки. Опредѣленіе масштабовъ для T_m и S_m см. въ кривой разгона /§ 6/.

е/ Построеніе кривой скорости $V=\varphi(S)$ и времени $T_m=\psi(S)$ при торможеніи /фиг.16/.

Фиг.16.

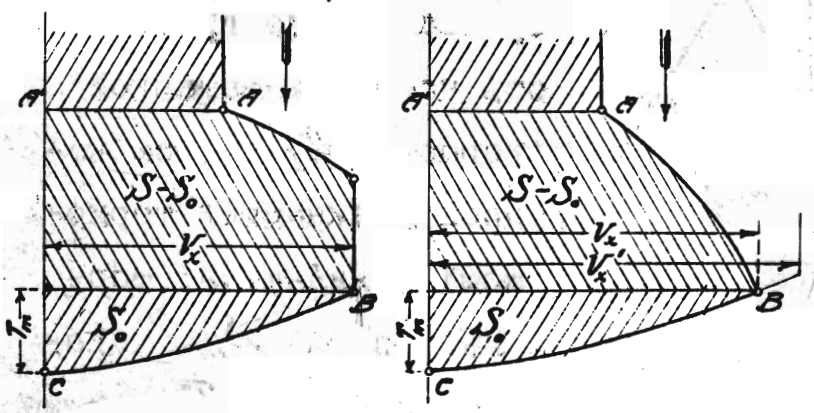


Не представляетъ затрудненія и построеніе кривой скорости $V=\varphi(S)$ разъ дано графически уравненіе движенія поѣзда при торможеніи. Построеніе представлено на фиг.16, гдѣ построена и кривая $T=\psi(S)$.Результатомъ построенія отъ наперед заданной скорости v_i , съ которой начинается торможеніе, являются: тормазной путь S_m ,время торможенія T_m и потеря времени τ_m при

торможеніи по сравненію съ временемъ T_i , которое потребовалось бы для прохожденія участка S_m съ равномѣрною скоростью v_i . Преимуществомъ этого способа построенія является то, что абсцисса S_m выходитъ довольно большой, что точнѣе опредѣляетъ и T_m , тогда какъ при пользованіи способомъ Дедуи T_m выражается весьма малымъ отрѣзкомъ. Далѣе кривую $V=\varphi(S)$ гораздо легче пристроить къ заранѣе построенной кривой V для заданнаго перегона, чѣмъ при способѣ Дедуи, гдѣ необходимо планиметрсвать площадь и тогда рѣшать вопросы о пристройкѣ тормазной діаграммы къ общей путемъ попытокъ. Удобнѣе рѣшаются и тормазныя задачи на число тормазовъ въ поѣздѣ. Все это изложено въ слѣдующихъ отдѣлахъ настоящаго параграѳа.

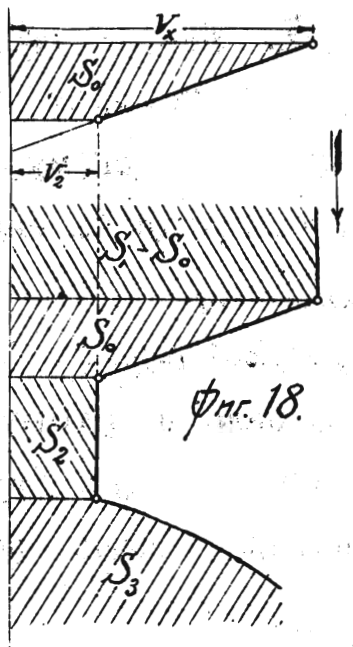
f) Рѣшеніе тормазныхъ задачъ при помощи кривой $V=\varphi(T)$

Фиг.17



На фиг.17 показано, какъ пристраивать кривую скорости при торможеніи къ ранѣе построенной кривой скорости. Если скорость движенія была установившейся /лѣвый эскизъ/, то стро-

имъ отдѣльно кривую торможенія, начиная съ этой скорости V_x и затѣмъ опредѣляемъ площадь S_0 - тормазный путь. Далѣе, зная длину всего послѣдняго расчетнаго участка S, находимъ $S-S_0$ и отпланиметрировываемъ его на діаграммѣ, послѣ чего отъ точки B пристраиваемъ ранѣе отдѣльно построенную кривую торможенія BC Если же торможеніе начинается при неустановившейся скорости движенія /правый эскизъ/, то кривую торможенія надо отдѣльно построить, начиная съ завѣдомо большей скорости V_x', а затѣмъ, перенеся кривую торможенія на кальку, путемъ попытокъ находимъ правильное ея положеніе такъ, чтобы сумма $S-S_0+S_0$ была бы равна длинѣ расчетнаго участка въ масштабѣ площадей. Слѣдуетъ строго соблюдать, чтобы S_0 — тормазный путь не превышалъ бы для товарныхъ поѣздовъ ни въ какомъ случаѣ 400-500 метровъ.



Фиг. 18.

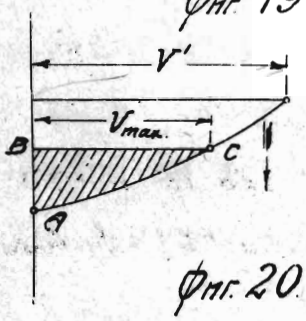
На фиг.18 указано построеніе для случая замедленія скорости /напр. на мостахъ, ремонтныхъ работахъ, пилотажахъ и т.п./. Строимъ отдѣльно кривую торможенія со скорости V_x съ которой начнется торможеніе, и ограничиваемъ S_0 ординатою V_2, которая есть заданная скорость на данномъ участкѣ ремонта. Далѣе, отпланиметровываемъ площадь S_1-S_0, пристраиваемъ S_0 и проводимъ па-

раллель оси временъ на разстояніи V_2 . Откладываемъ площадь S_2 равную въ масштабѣ длинѣ участка съ замедленнымъ ходомъ и дальше строимъ кривую разгона, какъ обычно.

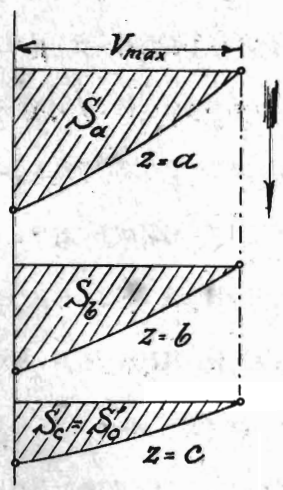
2/ ПРЕДѢЛЬНАЯ СКОРОСТЬ НА СКАТАХЪ ПО ТОРМОЖЕНІЮ И ЧИСЛО ТОРМАЗОВЪ ВЪ ПОѢЗДѢ ПО ЗАДАННОЙ СКОРОСТИ НА СКАТѢ.

Первая задача рѣшается очень легко. Строимъ /фиг. 19/ кривую торможенія для наибольшаго уклона дороги / $W_{minimum}$ / и заданнаго числа тормазовъ, т.е. Z_m , начиная съ завѣдомо большей скорости V' .Затѣмъ отъ конечной точки А откладываемъ площадь S_o = 400-500 метровъ, которая признается наибольшимъ допустимымъ тормазнымъ путемъ для товарныхъ поѣздовъ. Площадь S_o будетъ ограничена сверху ординатой ВС, которая въ масштабѣ скоростей и даетъ искомую предѣльную скорость движенія на наибольшемъ уклонѣ = $V_{maximum}$.

Фиг. 19

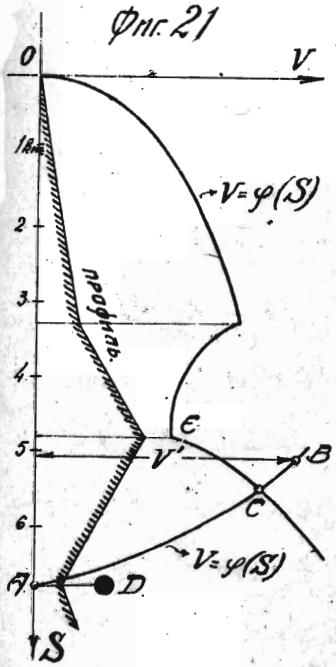


Фиг. 20



Вторая задача /фиг.20/ можетъ быть рѣшена только путемъ ряда попытокъ. Начиная съ заданной скорости $V_{max.}$ строимъ кривыя торможенія при различномъ числѣ тормазовъ въ поѣздѣ , напр. при $z=a$, $z=b$ и $z=c$.

Фиг. 21



Когда получимъ площадь $S_c = S_o'$ = заданнымъ 400-500 метрамъ, то и должны остановиться на числѣ тормазовъ въ поѣздѣ $z_m = c$.Для облегченія попытокъ можно пользоваться уравненіемъ, выведеннымъ пр. Р.Гостковскимъ для тормазнаго пути S_o = = 400 метровъ:

$$z_m = \frac{5}{8}\left[\frac{3V^2}{400-V} + i\right] + 0{,}012\, i\, V,$$

гдѣ V предѣльная скорость движенія, и i – показатель въ ‰ наибольшаго уклона.

На каждой жел. дорогѣ существуютъ особыя таблицы /часто совершенно произвольныя/, дающія связь между V_{max}, i_{max} и z_m, которыми пользуются при составленіи поѣздовъ. [См. Правила Техн. Эксплоат.].

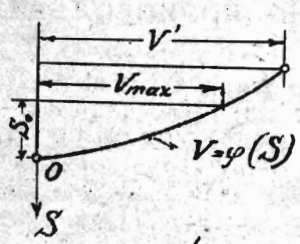
Рѣшеніе тормазныхъ задачъ съ помощью кривой скорости $V = \varphi(S)$

I/ для того, чтобы пристроить кривую торможенія къ имѣющейся уже /фиг.21/ кривой хода поѣзда $V = \varphi(S)$ мы отдѣльно строимъ кривую $V = \varphi(S)$ при торможеніи, начиная съ завѣдомо большей скорости V' чѣмъ та, съ которой начинается торможеніе. Затѣмъ переносимъ полученную кривую торможенія такъ, чтобы нулевая скорость /точка A/ совпала бы со станціей, намѣченной на построенномъ профилѣ. Этимъ опредѣляется сразу положеніе кривой торможенія AB безъ всякихъ попытокъ.

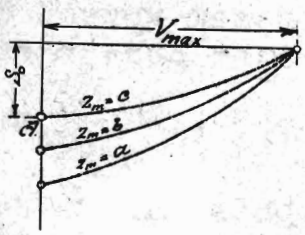
Измѣненіе скорости должно идти по кривой ЕСА. Находимъ также точку профиля, гдѣ мы должны закрыть регуляторъ и начать торможеніе поѣзда.

2/ Нахожденіе наибольшей допускаемой скорости на наибольшемъ скатѣ при заданномъ тормазномъ коэффиціентѣ z_m производится такъ: /фиг.22/.

Фиг. 22.



Фиг. 23



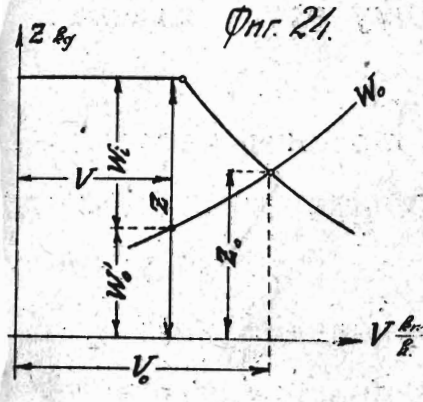
Съ завѣдомо большей скорости V', чѣмъ максимальная допускаемая, строимъ кривую торможенія $V=\varphi(S)$. Затѣмъ отъ момента остановки 0 по оси абсциссъ въ масштабѣ откладываемъ допускаемый тормазный путь S_0 и тогда находимъ наибольшую допускаемую скорость V_{max} по торможенію.

3/ Опредѣленіе тормазнаго коэффиціента z_m при заданныхъ $W_{max.}$, i_{max} и составѣ поѣзда производится такъ. Беремъ попыткой $z_m = a$ и по этимъ даннымъ строимъ кривую торможенія. Если тормазный путь получился больше S_0, то, очевидно, надо увеличить z_m. Послѣдовательными попытками находимъ, что $z_m = c$, при которомъ кривая V пройдетъ черезъ точку А. Облегченіе въ этомъ способѣ по сравненію со способомъ Дедуи заключается въ томъ, что послѣ попытокъ построенія намъ не приходится плани-

метровать, что очень обременительно и долго.

§ II. РАСЧЕТЪ ВРЕМЕНИ ХОДА ПОѢЗДА ПО ВИРТУАЛЬНОЙ ДЛИНѢ И ОСНОВНОЙ СКОРОСТИ.

/Способъ составленія росписаній, принятый на Прусскихъ ж.д. и предложенный фонъ-Боррисомъ/.



Фиг. 24.

Основной скоростью движенія V_0 называемъ скорость движенія поѣзда даннаго состава Q на горизонтали. Она опредѣляется по характеристикѣ паровоза и кривой сопротивленія /фиг.24/

Всѣ подъемы и уклоны переводимъ въ такой длины виртуальные горизонтали, двигаясь по которымъ со скоростью V_0 поѣздъ проходитъ ихъ въ то-же время, что и замѣняемый подъемъ. Если длина подъема есть l , скорость движенія по нему V , то время хода есть $t = \frac{l}{V}$. На виртуальной же горизонтали длиною l_v при скорости V_0 , время хода есть $t = \frac{l_v}{V_0}$. Виртуальную длину можно представить, какъ $l_v = l(1 \pm s)$, гдѣ s - правильная дробь /такъ называемая "прибавка"/, знакъ + относится къ подъемамъ,-къ уклонамъ. Приравнивая времена хода

получимъ:

$$\frac{l}{V} = \frac{l(1+S)}{V_0},$$

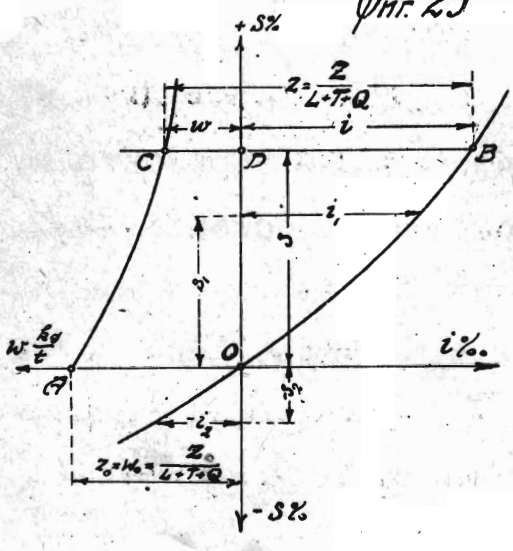
или

$$V = \frac{V_0}{1+S} \quad \ldots\ldots (1)$$

Для замѣны подъемовъ горизонталями мы должны составить таблицу или діаграмму, пользуясь которой любой подъемъ показателя i переводимъ въ горизонталь, т.е находимъ для него прибавку S. Діаграмму эту я называю "$i - S$ діаграмма".

Построеніе ея указано на фиг.25. Проводимъ черезъ начало координатъ оси: абсциссу по которой въ извѣстномъ масштабѣ откладываемъ влѣво отъ 0 удѣльныя сопротивленія въ $\frac{kg}{tn}$; вправо подъемы i [примѣръ масштаба: $5\,{}^{m}/_{m} = 1\,{}^{kg}/_{tn} = 1\,‰$] въ томъ же масштабѣ. По оси ординатъ вверхъ откладываемъ $+S$ внизъ $-S$ /примѣръ масштаба: $5\,{}^{m}/_{m} = 0{,}1$ или $10\,‰$. Откладываемъ $OA = w_0 = z_0 = \frac{z_0}{L+T+Q}$.

Фиг. 25



причемъ z_0 беремъ изъ характеристики /фиг.24/. w_0 есть удѣльное сопротивленіе поѣзда на горизонтали. Далѣе беремъ произвольную прибавку S и вычисляемъ для нея дѣйствительную скорость движенія по подъему по уравненію /1/ и для этой вычисленной скорости V на характеристикѣ /фиг.24/ находимъ силу тяги паровоза $Z = W_0' + W_i$. Отъ точки

D діаграммы /фиг.25/ влѣво откладываемъ $w = \frac{W_0'}{L+T+Q}$ до точки C, а отъ точки C вправо откладываемъ величину $\frac{z}{L+T+Q} = z$ Тогда очевидно $DB = i = \frac{W_i}{L+T+Q}$ есть показатель подъема, соотвѣтствующій взятой нами произвольно прибавкѣ S. Рядомъ такихъ построеній мы получаемъ кривую OB, которой и можно пользоваться теперь обратно, т.е. для заданнаго подъема i, сейчасъ же найдемъ прибавку S, а слѣдовательно, и виртуальную длину участка $l(1+S)$, а также дѣйствительное время хода по нему

$$t = \frac{l(1+S)}{V_0}$$

Поступая такимъ образомъ для всѣхъ участковъ нашего тягового участка, найдемъ, очевидно, полное время хода поѣзда простымъ суммированіемъ. Т.е. получимъ время /полное/ хода, какъ $T = \Sigma \frac{l_v}{V_0} + \tau_1 + \tau_2$ гдѣ τ_1 потеря времени при первоначальномъ разгонѣ, а τ_2 при торможеніи. Кривыя переводятся въ подъемы по формулѣ:

$$i_k = \frac{650}{R^{mt} - 55} \left[\frac{kg}{tn}\right]$$

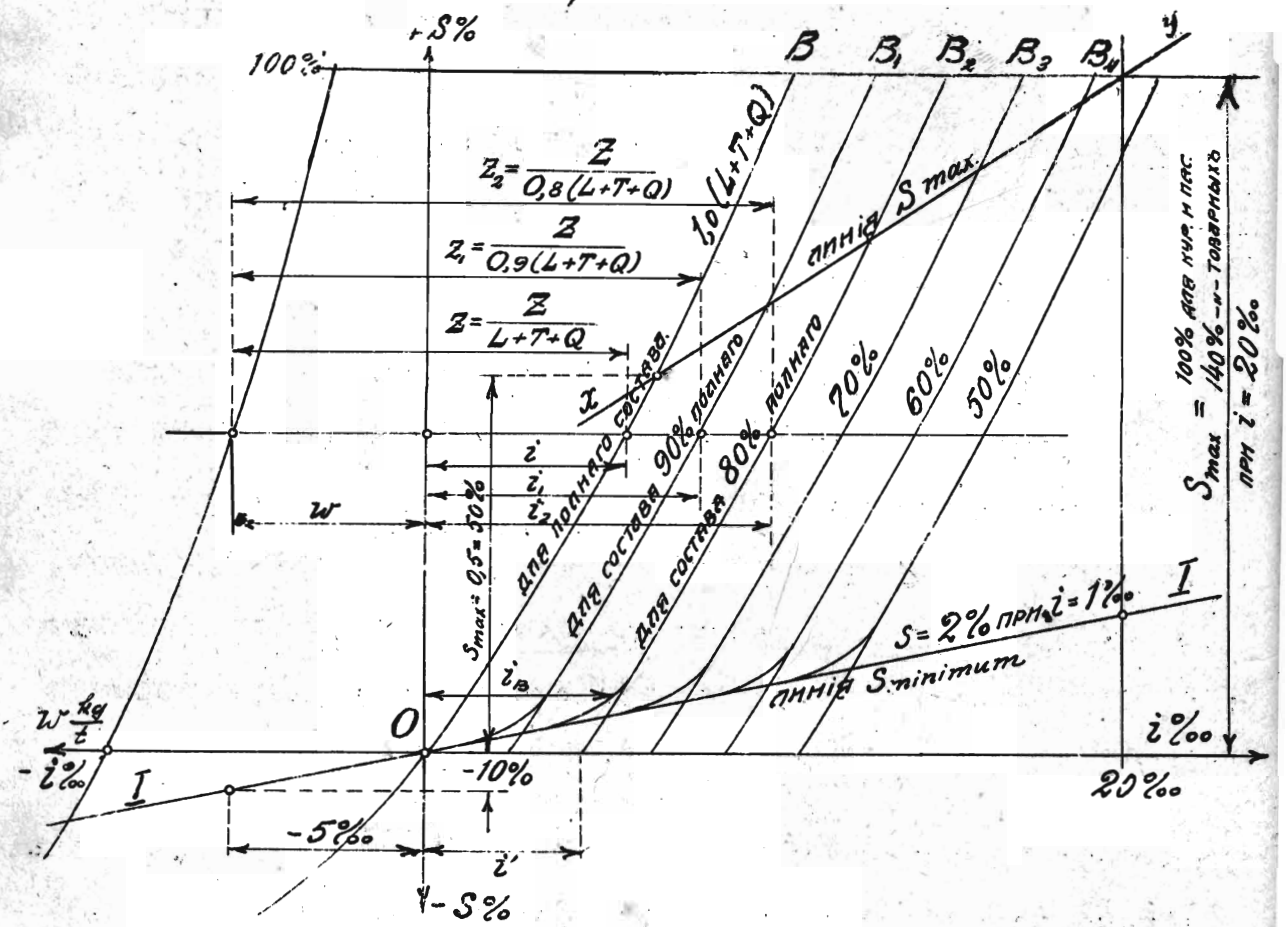
и въ дальнѣйшемъ трактуются, какъ подъемы, т.е. для нихъ отдѣльно находятся добавочныя времена хода или же эти фиктивные подъемы прибавляются къ дѣйствительнымъ, а время расчитывается по виртуальному подъему.

Въ діаграмму $i-S$ вводится, однако, еще рядъ поправокъ опирающихся на 20-лѣтній опытъ Прусскихъ ж.д. /фиг.26 /

I/ Чтобы не уменьшать очень пропускной способности дороги, прибавки S не дѣлаютъ больше $S = 0,5$, т.е.

50 %/ для полнаго состава поѣзда. Если же діаграммы i-S показываетъ, что S должно быть больше, то уменьшаютъ составъ поѣзда на 10,20 и т.п. %, одновременно, однако, увеличивая и предѣльное допускаемое S , которое доводится до 1,0 /100 %/ для пассажирскихъ поѣздовъ и S =

Фиг. 26.



= 1,4 /14 %/ для товарныхъ поѣздовъ при подъемахъ i = = 20 % . Такимъ образомъ, возникаетъ ограничительная прямая xy , діаграммы и рядъ кривыхъ $i-S$, т.е. кривыя B_1, B_2, B_3 .... и т.д. для уменьшенныхъ составовъ поѣзда. Получаются они легко по кривой удѣльнаго сопротивленія w и величинѣ удѣльной силы тяги, напримѣръ,

$$Z = \frac{Z}{0,9(L+T+Q)}$$

и т.д. обычнымъ уже извѣстнымъ

путемъ, т.е. строятся по точкамъ.

2/ Кривыя B_1, B_2, B_3 и т.д. для уменьшенныхъ составовъ показываютъ, что до подъемовъ i' скорость движенія будетъ и на подъемахъ равна V_0, ибо прибавка - $S = 0$. Принятый машинистами способъ ѣзды не даетъ, однако, возможности оставить это такъ, а потому снизу диаграмма ограничивается прямой $I-I$, проведенной съ расчетомъ, что подъему $i = 1\%$ соотвѣтствуетъ $S = 0,02\ (2\%)$. Кривыя B_1 и т.д. сопрягаются съ линіей $I-I$ плавными кривыми. Это и даетъ уже теперь $S > 0$ при всѣхъ $i > 0$.

3/ Уклоны используются, т.е. на уклонахъ допускается увеличеніе скорости. S для уклоновъ берется не по кривой ОВ, а по прямой $I-I$, т.е. использованіе уклоновъ производится не въ полной мѣрѣ.

Дѣйствительная скорость на уклонахъ $V = \frac{V_0}{1-S}$ не должна превосходить задаваемой предѣльной скорости *к/*; въ обратномъ случаѣ по уклону надо ѣхать съ предѣльной допускаемой скоростью и вычислять время хода по уклону какъ $t_y = \frac{l_y}{V_{max.}}$, гдѣ l_y - длина /дѣйствительная/ уклона. Предѣльныя отрицательныя значенія S для уклоновъ вообще слѣдуетъ принимать не больше:

$-S = 0,1$ для курьерскихъ поѣздовъ

$-S = 0,2$ для пассажирскихъ -

$-S = 0,25$ для товарныхъ "

к/ По типу паровоза, торможенію и т.п., (см. соотвѣтствующій параграфъ курса).

Проф. Ив. Рахманов

4/ На разгонъ поѣзда по выходѣ со станціи прибавлять:

для пассаж.и курьер. I 1/2 мин.
" товарныхъ 2 "

На торможеніе поѣзда прибавлять для
пассаж. и курьер. 1/2 мин.
товарн. - I "

} Къ полученному времени хода по v_0 кк.потери времени τ_1 и τ_2

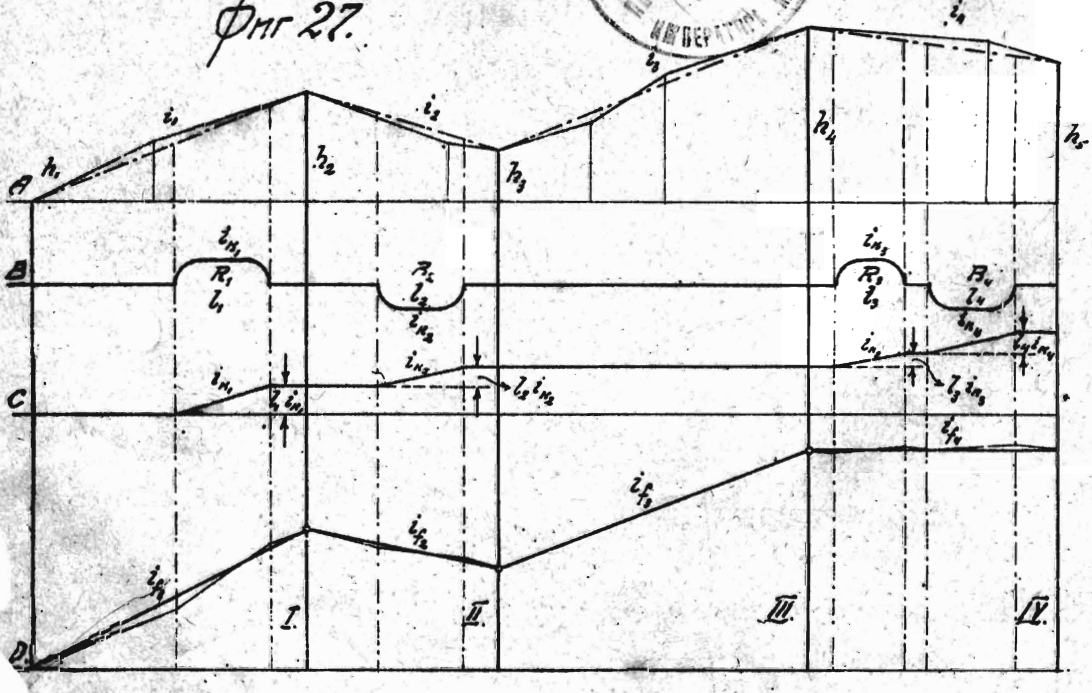
При замедленіи движенія на пилотажахъ, мостахъ и т.д. со скорости V km/h до $(V-a)$ km/h на участокъ длиною 1000 метровъ прибавлять потерю времени :

при a =	10	15	20	25	30	35	40	45 km/h
t_n =	1/4	1/2	1/2	3/4	I	I 1/4	1 1/2	2 минуты.

§ 12. Сокращеніе профиля.

/фиг.27/

Фиг 27.



Сокращеніе профиля производится иногда для сокращенія работы по построенію кривой $V=\varphi(T)$, при чемъ профиль замѣняется болѣе простымъ, имѣющимъ меньше переломовъ. Заодно принимаются во вниманіе и кривыя, которыя переводятся въ эквивалентные подъемы. Послѣднѣе необходимо дѣлать во всякомъ случаѣ при построеніи кривыхъ $V=\varphi(T)$ и $V=\varphi(S)$. Сущность рѣшенія этихъ задачъ виднѣе всего будетъ на примѣрѣ.

Эскизъ А изображаетъ продольный профиль линіи и В - планъ ея. Длины участковъ выражаются абсциссами. Данный участокъ по характернымъ переломамъ раздѣляемъ на 4 болѣе короткихъ участка (пунктиръ — на эскизѣ А), средніе подъемы и уклоны которыхъ опредѣляются по отмѣткамъ полотна, напр., для перваго участка:

$$i_1=\frac{h_2-h_1}{L_1},$$ гдѣ L_1 — длина перваго участка,

для второго:

$$i_2=\frac{h_3-h_2}{L_2},$$ гдѣ L_2 — — " второго "

и т.д.

Далѣе по какой-либо эмпирической формулѣ /см.§ 3/ переводимъ кривыя въ эквивалентныя подъемы $i_н‰=w_н\left[\frac{кг}{тн}\right]$ и опредѣляетъ по даннымъ длинамъ кривыхъ фиктивное превышеніе конца кривой подъ ея началомъ /эскизъ С/, что позволяетъ намъ построить профиль, зависящій и отъ кривыхъ. Далѣе идетъ суммированіе высотъ профиля /А/ съ профилемъ /С/, которое дано на эскизѣ /Д/ тонкими линія

ми. Послѣ чего еще разъ скоращаемъ полученный профиль и получаемъ окончательно начерченный жирной линіей. Такъ какъ кривыя всегда дѣйствуютъ въ смыслѣ повышенія сопротивленія, то могутъ получаться картины кромѣ 4-го участка, гдѣ уклонъ вслѣдствіе присутствія двухъ длинныхъ кривыхъ окончательно замѣненъ горизрнтальнымъ участкомъ

На самомъ дѣлѣ не приходится строить всѣхъ этихъ профилей, а,какъ нетрудно видѣть, окончательные сокращенные подъемы получатся, если мы возьмемъ суммы показателей подъема, напр.

$$i_{f_1} = i_1 + i_к = \frac{h_2 - h_1}{L_1} + w_к$$

для подъемовъ или

$$i_{f_4} = w_к - \frac{h_4 - h_5}{L_4}$$

для уклоновъ.

Для полученныхъ виртуальныхъ участковъ съ фиктивнымъ показателемъ подъема i_f ‰ мы и должны дѣлать наши расчеты, т.е. при графическихъ построеніяхъ проводить новыя оси абсциссъ.

§ 13. О наивыгоднѣйшемъ составѣ и наивыгоднѣйшей скорости товарныхъ поѣздовъ.

Разсматриваемъ только товарное движеніе, т.к. пассажирское требуетъ по своему существу возможно большей скорости, что отвѣчаетъ, вообще говоря, малымъ составамъ.

Если на данномъ участкѣ длиною S перемѣщается поѣздъ вѣсомъ $L+T+Q$, причемъ среднее сопротивленіе на тонну вѣса поѣзда при установившемся движеніи будетъ $(w+i)\frac{kg}{tn}$ гдѣ i - показатель средняго профиля даннаго участка, то полная работа, совершаемая поѣздомъ, будетъ, очевидно, равна

$$(L+T+Q)(w+i)S = \mathcal{H}$$

Если вѣсъ груза въ вагонахъ будетъ xQ гдѣ x - коэффиціентъ полногрузности вагона*/, то полезная работа перевозки будетъ

$$xQ(w+i)S = \mathcal{H}_e$$

Отношеніе $\frac{\mathcal{H}_e}{\mathcal{H}} = \eta_k$ - есть коэффиціентъ полевнаго дѣйствія перевозки. Чѣмъ онъ больше, чѣмъ перевозка выгоднѣе.

$$\eta_k = \frac{xQ(w+i)}{(L+T)(w+i)+Q(w+i)}$$

Дѣля числителя и знаменателя на $Q(w+i)$ получимъ:

$$\eta_k = x \cdot \frac{1}{\frac{L+T}{Q}+1}$$

Очевидно, что перевозка тѣмъ выгоднѣе, чѣмъ больше x, т.е. чѣмъ полногрузнѣе вагоны, а затѣмъ, чѣмъ при данномъ паровозѣ / т.е. $L+T$ / вѣсъ поѣзда Q будетъ больше. Итакъ, выгодно перевозить возможно большіе со-

---

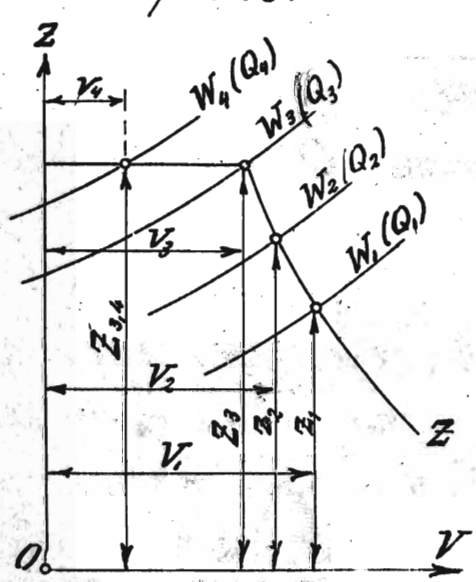
*/ x_{max} для норм.тов.вагона $\cong$ 0,65-0,67; x подымается до 0,7 при вновь установленной нагрузкѣ въ 1000 пуд.

ставы полногрузныхъ поѣздовъ.

2/ Наивыгоднѣйшая скорость на подъемахъ товарныхъ поѣздовъ.

Предыдущая задача даетъ намъ основаніе стремиться къ увеличенію вѣса поѣзда Q , что при томъ же паровозѣ равносильно уменьшенію скорости. Въ расчетъ должны принимать, конечно, наитруднѣйшій подъемъ, такъ какъ паровозъ долженъ преодолѣвать и его. Является вопросъ, какъ далеко нужно идти съ уменьшеніемъ скорости и соотвѣтственнымъ увеличеніемъ состава. Если обратимся къ фиг.28 , на которой дана характеристика паровоза, то увидимъ, что составу поѣзда Q_1 /кривая сопротивленія W_1 /соотвѣтствуетъ сила тяги паровоза Z_1 и скорость установившаго движенія V_1 . При увеличеніи состава до Q_3 /кривая сопротивленія W_3 /, увеличеніе состава соотвѣтствуетъ увеличенію силы тяги съ Z_1 до Z_3 /скорость же уменьшается до V_3 /. Дальнѣйшее уменьшеніе скорости до V_4 не сопровождается уже

Фиг. 28.



увеличеніемъ силы тяги паровоза, ибо $Z_4 = Z_3$; паровозъ использованъ уже вполнѣ. Выражая мысль иначе, можно сказать, что дальнѣйшее увеличеніе состава поѣзда съ Q_3

до Q_4 /кривая сопротивленія W_4 / вызываетъ уже рѣзкое паденіе скорости. Поэтому скорость V_3, равную абсциссѣ точки перелома характеристики паровоза и слѣдуетъ считать наивыгоднѣйшей для наибольшаго подъема. Если эта скорость очень мала, она можетъ понизить пропускную способность дороги, во всякомъ случаѣ она не должна быть меньше 10-12 $\frac{km}{h}$

3/ Опредѣленіе скорости движенія для достиженія наибольшей пропускной способности жел.дор. /съ данными паровозами/.

Если задана длина задерживающаго перегона к/ $S[km]$, то число поѣздовъ, проходящихъ въ сутки въ одномъ направленіи, можетъ быть при двухпутной дорогѣ жж/ $n = \frac{24V}{S}$, гдѣ V средняя скорость движенія по задерживающему перегону, а пропускная способность дороги будетъ:

к/ Задерживающимъ перегономъ называется такой, время хода поѣзда по которому есть наибольшее. Это можетъ быть или подъемъ или длинная горизонталь и т.д., однимъ словомъ, онъ зависитъ не только отъ профиля, но и отъ длины. Сдѣлая построеніе кривой $V=\varphi(T)$ или $V=\varphi(S)$ мы быстро его находимъ /онъ остается однимъ и тѣмъ же при любомъ составѣ поѣзда/.

жж/ См.сл.стр. /выписка/

$Qn = \frac{24QV}{S}$, гдѣ Q -вѣсъ одного поѣзда, пропорціональный, очевидно, числу вагоновъ. Для опредѣленія V, при которой Qn будетъ максимально, поступаемъ такъ: при установившемся движеніи $Z = W$. Но

$$Z = \frac{270N_e}{V} = \frac{270 \cdot H \frac{N_e}{H}}{V} = \frac{270 \cdot H \cdot a\sqrt{V}}{V} = \frac{k}{\sqrt{V}}$$

гдѣ H поверхность нагрѣва паровоза, а $\frac{N_e}{H}$ взято для простоты по формулѣ типа Франка, т.е. $\frac{N_e}{H} = a\sqrt{V}$. Сопротивленіе же поѣзда

$$W = (L+T)(w+i) + Q(w+i)$$

Приравнивая Z и W получимъ:

$$(L+T)(w+i) + Q(w+i) = \frac{k}{\sqrt{V}}$$

Откуда

$$Q = \frac{k}{(w+i)\sqrt{V}} - (L+T)$$

Умножая обѣ части на n и подставляя его значеніе $n = \frac{24V}{S}$, получимъ:

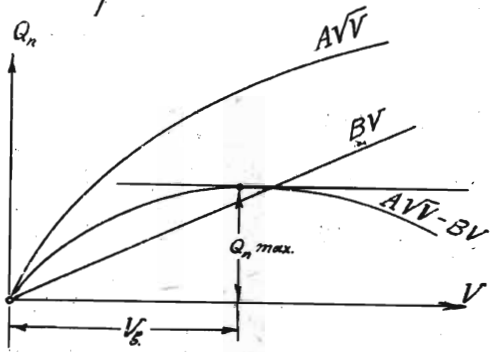
$$Qn = \frac{kn}{(w+i)\sqrt{V}} - (L+T)n =$$

$$= \frac{24k\sqrt{V}}{(w+i)S} - \frac{24(L+T)}{S} \cdot V$$

ж/ При однопутной $n = \frac{24V}{S(1+\alpha)}$, гдѣ α -отношеніе времени хода въ трудномъ направленіи къ времени хода въ легкомъ направленіи.

Полагая w независимымъ отъ скорости, т.к. дѣло идетъ обычно относительно наибольшихъ скоростей движенія, при которыхъ w мало зависитъ отъ скорости*/ /ср.формулу сопротивленія Кларка/, можемъ написать $Qn = A\sqrt{V} - BV$, гдѣ А и В постоянныя. Максимумъ Qn легче всего опредѣлить графически /фиг.29/. - Сначала строимъ кривую $A\sqrt{V}$ по точкамъ, придавая V послѣдовательныя значенія, далѣе тѣмъ же способомъ строимъ прямую BV, производимъ вычитаніе ординатъ и получаемъ кривую Qn, которая даетъ при нѣкоторой скорости $V_в$ перегибъ. Проведя касательную къ кривой Qn параллельно оси абсциссъ, находимъ наибольшее значеніе - Qn_{max} и скорость $V_в$, соотвѣтствующую наибольшей пропускной способности дороги.

Фиг. 29



4/ О предѣльныхъ скоростяхъ V_{max} и V_{min}.

Величина наибольшей допускаемой скорости движенія V_{max} опредѣляется многими соображеніями, а именно:

---

*/ $w\left[\frac{kg}{tn}\right]$ можно приблизительно полагать равнымъ около 3,5 $\frac{kg}{tn}$

а/ конструкціей паровоза, б/ износомъ машины паровоза, в/ динамическимъ дѣйствіемъ колеса паровоза на рельсъ и г/ количествомъ тормазовъ въ поѣздѣ и наибольшимъ уклономъ.

По пункту а/ слѣдуетъ замѣтить, что можно всегда допускать бо́льшую скорость для тѣхъ паровозовъ, ходъ которыхъ болѣе спокоенъ, т.е. для такъ наз. уравновѣшенныхъ паровозовъ, т.е. паровозовъ съ 4 цилиндрами и 4 ведущими шатунами /колѣнчатая ось/. Правило это принято и у насъ въ Россіи, какъ видно изъ слѣдующихъ строкъ.

По соображеніямъ объ износѣ машины и отчасти отъ динамическаго дѣйствія колеса на рельсъ у насъ правилами Технической Эксплоатаціи опредѣлено предѣльное число оборотовъ ведущихъ составъ въ минуту n , а именно:

225 для товарныхъ паровозовъ
265 для пассажирскихъ паровозовъ
300 для паровозовъ уравновѣшенныхъ.

При разсмотрѣніи динамическаго дѣйствія колеса паровоза на рельсъ обычно ограничиваются разсмотрѣніемъ лишь вертикальнаго дѣйствія. Въ I-ой части курса мы находимъ выраженіе для полной нагрузки рельса $П$, которое зависитъ отчасти отъ статической нагрузки, отчасти отъ жесткости рессоръ, и отчасти отъ количества оборотовъ въ секунду u . Слѣдовательно, при данномъ типѣ /профилѣ/ рельса и при данномъ количествѣ шпалъ на I длины пути, намъ можетъ быть задана предѣльная макисмальная величина $П$, изъ условія, чтобы напряженіе рельса не выходило за предѣлы дозволеннаго. Но если задана величина пол

ной нагрузки рельса $П$, то, зная статическое давленіе колеса на рельсъ P, коэффиціентъ жесткости рессоръ $ж$, а также элементы машины паровоза ($r, \lambda, \alpha, n, Q_з, Q_{ц.тр}$) мы можемъ рѣшить уравненіе для $П$ относительно числа оборотовъ въ секунду u чѣмъ при данномъ діаметрѣ движущих колесъ и опредѣлится максимальная допускаемая скорость по соображеніямъ дѣйствія колеса паровоза на путь.

Наконецъ, предѣльная наибольшая скорость движенія опредѣляется по наибольшему уклону и по количеству тормазовъ въ поѣздѣ, какъ это указано на стр. 42 настоящ. гл. II, § 10, 9 и 8. Изъ всѣхъ полученныхъ значеній V_{max} для наибольшаго уклона надо принимать наименьшее значеніе.

Относительно величины $V_{minimum}$, т.е. наименьшей допускаемой скорости, то она зависитъ отъ пропускной способности дороги, и отчасти отъ условій самаго движенія. Если мы зададимся слишкомъ малой скоростью движенія на наибольшемъ подъемѣ и дадимъ соотвѣтственно большой составъ поѣзда, то легко при неблагопріятной погодѣ /вѣтеръ, снѣгъ, гололедица/, т.е. при возрастаніи сопротивленія поѣзда, можетъ получиться остановка, сопряженная съ требованіемъ резервнаго паровоза. Поэтому, какъ наименьшій предѣлъ для скорости обычно принимаютъ $V_{min} = 10-12 \frac{km}{h}$

§ 14. Безвредные и вредные подъемы. Выгодность предѣльнаго допускаемаго подъема.

Предположимъ, что у насъ имѣется подъемъ съ показа

телемъ $i‰$, причемъ i отвѣчаетъ условію, что $i \leqslant w_o$, т.е. показатель подъема въ тысячныхъ меньше чѣмъ удѣльное сопротивленіе въ $\frac{kg}{tn}$ при данной скорости V . Если мы теперь возьмемъ длину подъема S , то работа силы тяги при равномѣрной скорости при движеніи поѣзда вверхъ равна

$$\mathcal{H}_1 = Z_1 S = (w_o + i)(L + T + Q)S,$$

при движеніи поѣзда внизъ

$$\mathcal{H}_2 = Z_2 S = (w_o - i)(L + T + Q)S$$

Средняя работа силы тяги будетъ

$$\mathcal{H} = \frac{\mathcal{H}_1 + \mathcal{H}_2}{2} = (L + T + Q) w_o S$$

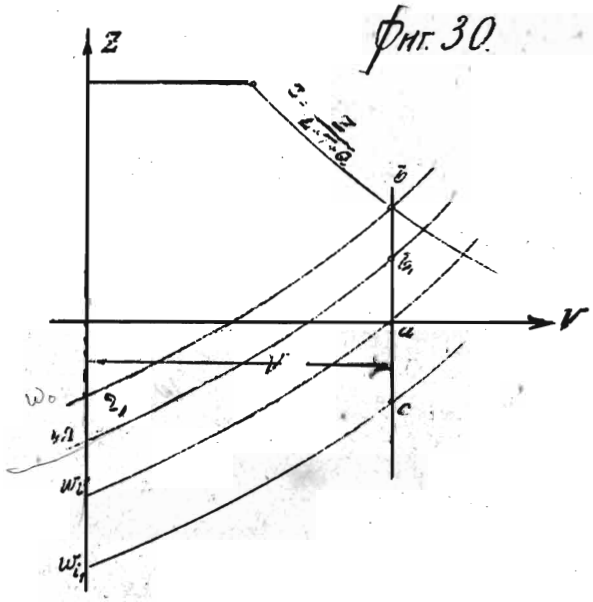
т.е. такая, какъ будто мы бы двигались по горизонтали и вверхъ и внизъ. Такой подъемъ i называется безвредным.

Если же у насъ имѣется подъемъ съ показателемъ i_1, причемъ $i_1 > w_o$ то мы можемъ его представить въ видѣ $i_1 = w_o + w_1$. Тогда при движеніи вверхъ мы совершаемъ работу

$$\mathcal{H}_1 = (w_o + w_o + w_1)(L + T + Q)S$$

а при движеніи внизъ можемъ закрыть регуляторъ и потому работа силы тяги при движеніи внизъ будетъ $\mathcal{H}_2 = 0$.

Въ этомъ мы убѣждаемся изъ фиг.30. Мы видимъ, что въ первомъ случаѣ для поддержанія скорости V мы должны были бы уменьшить силу тяги съ ab /на горизонтали/ до a_1b_1 /на уклонѣ $i‰$ кривая w_i /; это уменьшеніе силы тяги производится уменьшеніемъ наполненія цилиндровъ



Фиг. 30

или уменьшеніемъ открытія регулятора. Чѣмъ i больше тѣмъ больше мы должны уменьшать силу тяги, такъ что при нѣкоторомъ i' /кривая сопротивленія $w_{i'}$ / силу тяги должны сдѣлать равной нулю. Подъемъ $i' = w_{i'} = ab$ есть предѣлъ безвреднаго уклона. При уклонахъ, большихъ чѣмъ i', именно, при $i_1 = w_0 + w_{i_1}$ для поддержанія той же скорости движенія намъ необходимо приложить даже тормозящую силу ac.

Итакъ, если $i_1 > w_0$, то безусловно при движеніи поѣзда внизъ и слѣдовательно $N_2 = 0$

Поэтому среднее значеніе работы силы тяги будетъ

$$N = \frac{N_1 + N_2}{2} = (L + T + Q) w_0 S + \frac{w_i}{2} (L + T + Q) S$$

Мы видимъ, что средняя работа силы тяги больше, чѣмъ работа на горизонтали на величину $\frac{w_i}{2}(L+T+Q)S$; работу $\frac{w_i}{2}(L+T+Q)S$ мы затрачиваемъ при движеніи внизъ, вслѣдствіе того, что принуждены тормозить, причемъ работа $\frac{w_i}{2}(L+T+Q)S$ должна быть поглощена работою торможенія. Такой подъемъ или уклонъ мы называемъ вреднымъ.

Безвредность уклона характеризуется такимъ образомъ величиною w_0 удѣльнаго сопротивленія при скорости V на горизонтали. Такимъ образомъ, для пасажир-

скихъ поѣздовъ безвредные уклоны имѣютъ большій показатель i , ибо для нихъ и w_0 больше, разъ больше скорость V . Кривыя, какъ извѣстно, повышаютъ величину w_0 на величину $w_к$, поэтому кривыя повышаютъ предѣльную величину безвреднаго уклона; поэтому кривыя полезно располагать именно на уклонахъ.

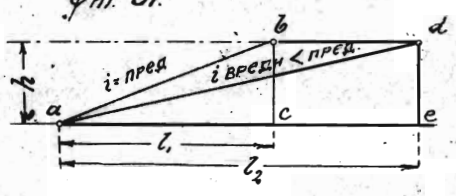
Если подъемъ по расчету получается вреднымъ, но длина его невелика, не болѣе I км., а величина w_i въ выраженіи $i_1 = w_0 + w_i$ не болѣе $3^1/2$ % и при условіи, что за вреднымъ уклономъ идетъ уклонъ безвредный или горизонталь или подъемъ безвредный, то при этихъ условіяхъ данный вредный уклонъ можно считать безвреднымъ.

Часто при проектированіи жел. дороги мы приходимъ къ необходимости остановиться на подъемѣ вредномъ, именно, въ томъ случаѣ, если нельзя развить линіи. Въ этомъ случаѣ приходится рѣшить вопросъ, идти ли намъ предѣлнымъ допускаемымъ подъемомъ или меньшимъ, но тоже вреднымъ. Оказывается, что въ этомъ случаѣ выгоднѣе принять предѣльный подъемъ, ибо работа силы тяги при преодолѣніи извѣстной (данной и конечной) высоты въ этомъ случаѣ оказывается меньше.

Дѣйствительно /фиг.31/, чтобы изъ точки a поднять поѣздъ въ b /на высоту h / необходимо совершать работу перемѣщенія поѣзда изъ a въ c, которая равна $Z_0 l_1$ и кромѣ того поднять поѣздъ по отвѣсу изъ c въ b на что нужна работа $h(L+T+Q)$. Полная работа перемѣщенія въ этомъ случаѣ равна

$$A_1 = Z_0 l_1 + h(L+T+Q)$$

Фиг. 31.



Въ случаѣ же вреднаго уклона мень ше предѣльнаго работа перемѣщенія поѣзда на высоту h выразится соотвѣтственно

$$W_2 = Z_0 l_2 + h(L+T+Q)$$

Очевидно, что $W_2 > W_1$ ибо $l_2 > l_1$. Черезъ Z_0 мы обозначили силу тяги для перемѣщенія поѣзда по горизон тали.

Отсюда слѣдуетъ, что разъ намъ нужно идти вредными подъемами, то уже выгоднѣе ихъ дѣлать предѣльными допу-скаемыми x/ .

Длину участка со сплошнымъ предѣльнымъ подъемомъ мож-но дѣлать весьма различной, причемъ наибольшая длина опре дѣляется главнымъ образомъ величиною запасовъ воды въ тен

---

x/ Это зависитъ отъ того, что въ членѣ $\frac{w_i}{2}(L+T+Q)S$ при уменьшеніи i одновременно S растетъ, а w_i убы-ваетъ, но S растетъ нѣсколько быстрѣе, такъ,напр.,если положить w_0 = 3 ‰ и сравнить подъемы 5 ‰ и 30 ‰, то w_i возрастаетъ съ 2 ‰ до 27 ‰, т.е. въ I3,5 разъ, но въ то же время S уменьшается при высотѣ подъема h = I00 mt съ 50 км. до 3 км.,т.е. въ I7 разъ. Поэтому добавочная ра бота при 30 ‰ подъемѣ выходитъ въ общемъ меньше и идти предѣльнымъ подъемомъ выгоднѣе.

дерѣ паровоза *). Въ горныхъ мѣстностяхъ нерѣдко проходятъ до 20-30 км. сплошнымъ предѣльнымъ подъемомъ.

Опредѣленіе расхода воды и топлива производится по величинѣ средней мощности паровоза при движеніи вверхъ, т.е. по величинѣ

$$N_e = \frac{ZV}{270} = \frac{(w_o + i)(L + T + Q)V\ \frac{km}{h}}{270} \quad \text{лош. сил.}$$

и по расходу воды и топлива на I лош. силу-часъ. Цифры расхода воды и топлива даны въ моей брошюрѣ "Общій расчетъ паровоза и тендера" /2-ое изд. 1911 г./ въ главѣ о расчетѣ тендера.

§ 15. Потерянный подъемъ.

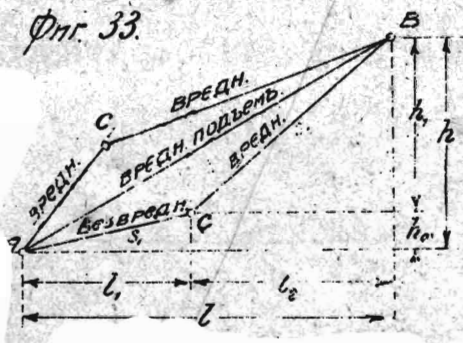
Въ § 14 выяснено значеніе вредныхъ и безвредныхъ уклоновъ, причемъ оказалось, что при движеніи по вреднымъ уклонамъ вниз регуляторъ закрытъ /сила тяги = 0/ и производится торможеніе, а при движеніи по безвреднымъ уклонамъ внизъ сопряжено съ затратой удѣльной силы тяги по $(w_o - i_s)$ kg/tn, гдѣ i_s показатель безвреднаго уклона.

Это обстоятельство позволяетъ намъ показать, что средняя работа силы тяги паровоза при движеніи по сплош-

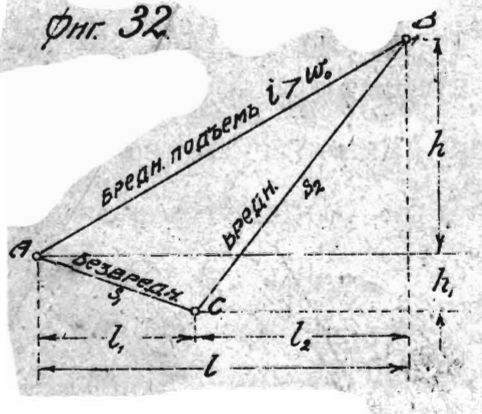
*) По нашимъ правиламъ постройки ж д. предѣльная длина предѣльнаго подъема вычисляется по наибольшей преодолѣваемой высотѣ/въ 25 саж., послѣ чего должна быть дана площадка въ 250 саж. длины, а далѣе можетъ быть опять допущенъ предѣльный подъемъ, преодолѣвающій высоту въ

ному вредному подъему АВ /фиг.32 и 33/ меньше, чѣмъ та

Фиг. 33.



Фиг. 32.



же работа при движеніи по комплекту безвреднаго уклона и вреднаго подъема /32/ или безвреднаго подъема и вреднаго подъема /33/. Дѣйствительно, /фиг.33/ предположимъ, что у насъ движеніе происходитъ по АВ. Тогда на преодолѣніе высоты h намъ понадобится перемѣстить поѣздъ по горизонтали l, т.е. произвести работу перемѣщенія $Z_0 l$ и потомъ поднять поѣздъ на высоту h для чего потребна ра

---

25 саж. и т.д. Для дорогъ съ облегченными условіями постройки площадки допускается включать послѣ преодолѣнія высоты въ 40 саж.

Проф. Ушаковъ

бота $(L+T+Q)h$.

Такъ какъ АВ есть вредный уклонъ, то обратное движеніе будетъ происходить при закрытомъ регуляторѣ и, слѣдовательно, работа силы тяги для обратнаго движенія есть нуль. Средняя же работа силы тяги будетъ для вреднаго уклона АВ равна

$$\mathcal{H}_{AB} = \frac{Z_0 l + (L+T+Q)h}{2}$$

Если же мы пойдемъ по профилю АСВ, причемъ АС есть безвредный подъемъ, а ВС вредный, то при подъемѣ поѣзда изъ А въ В мы совершимъ ту же работу поднятія $Z_0 l + (L+T+Q)h$ а при движеніи внизъ вредный уклонъ съ высотою h, пройдемъ при закрытомъ регуляторѣ /т.е. при Z и $\mathcal{H} = 0$/, а безвредный уклонъ СА съ затратой удѣльной силы тяги $(w_0 - i_s)$ kg/t ,т.е. совершимъ работу $(w_0 - i_s)(L+T+Q)S$, . Среднее значеніе работы силы тяги при движеніи туда и обратно для профиля АСВ получится, очевидно,

$$\mathcal{H}_{ACB} = \frac{Z_0 l + (L+T+Q)h}{2} + \frac{(w_0 - i_s)(L+T+Q)S}{2},$$

что съ очевидностью показываетъ, что

$$\mathcal{H}_{ACB} > \mathcal{H}_{AB}$$

именно вслѣдствіе того, что мы не используемъ для обратнаго движенія безъ пара высоту безвреднаго подъема h_0 , которая является какъ бы потерянной.

Если /фиг.32/ профиль будетъ разнохарактерный, т. безвредный подъемъ АС (фиг.33) мы замѣнимъ безвреднымъ уклономъ АС (фиг.34), то цѣло отъ этого не мѣняется. Работа перемѣщенія А въ С будетъ равна тогда $(w_0 - i_s)(L+T+Q)S_1$, работа перемѣщенія изъ С въ В будетъ равна суммѣ работъ перемѣщенія по горизонтали $Z_0 l_2$ и работы поднятія $(L+T+Q)(h+h_1)$. При обратномъ движеніи часть ВС /вредный уклонъ/ идемъ безъ пара, а на безвредномъ подъемѣ расходуемъ работу $(w_0 + i_s)(L+T+Q)S_1$

Такимъ образомъ средняя работа тяги при движеніи туда и обратно по профилю АСВ выразится

$$\mathcal{A}_{ACB} = w_0(L+T+Q)S_1 + \frac{Z_0 l_2 + (L+T+Q)(h+h_1)}{2} =$$

$$= Z_0 S_1 + \frac{Z_0 l_2}{2} + \frac{(L+T+Q)(h+h_1)}{2},$$

и такъ какъ $S_1 > l_1$ и именно $S_1 = l_1(1+\alpha)$

то

$$\mathcal{A}_{ACB} = Z_0 l_1 + \frac{Z_0 l_2}{2} + Z_0 l_1 \alpha + \frac{(L+T+Q)(h+h_1)}{2}$$

$$= \frac{Z_0(l_1+l_2)}{2} + \frac{Z_0 l_1(1+2\alpha)}{2} + \frac{(L+T+Q)h}{2} + \frac{(L+T+Q)h_1}{2}$$

$$= \frac{Z_0 l + (L+T+Q)h}{2} + \frac{Z_0 l_1(1+2\alpha) + (L+T+Q)h_1}{2}$$

т.е. опять таки $\mathcal{A}_{ACB} > \mathcal{A}_{AB}$ Здѣсь мы теряемъ подъемъ h_1

Только въ томъ случаѣ, если вредный подъемъ АВ /фиг. 33/ замѣненъ другими вредными же подъемами, именно, профилемъ АС'В то средняя работа силы тяги въ оба напра-

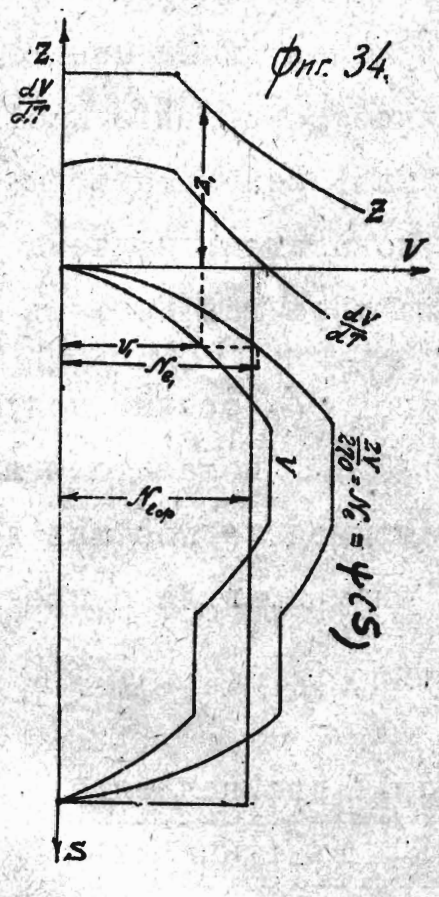
вленія при движеніи по профилю АС, В будетъ равна той же работѣ для профиля АВ, ибо при обратномъ движеніи и въ томъ и въ другомъ случаѣ мы будемъ идти безъ пара /сила тяги, а слѣдовательно и работа ея -равны нулю/.

Изъ всего изложеннаго въ §§ I4 и I5 вытекаетъ, что если намъ надо преодолѣть высоту h, то наиболѣе невыгодно провести профиль сѣдловиной /фиг.33/ съ включеніемъ безвреднаго уклона АС, нѣсколько выгоднѣе, если безвредный уклонъ АС будетъ замѣненъ безвреднымъ подъемомъ /фиг.33/, еще выгоднѣе профиль провести горбомъ, состоящимъ изъ вредныхъ уклоновъ или однообразнымъ вреднымъ подъемомъ АВ. Причемъ наивыгоднѣйшимъ показателемъ вреднаго подъема АВ въ тяговомъ отношеніи является предѣльный подъемъ, допущенный для данной линіи.

§ I6. Сравненіе варіантовъ въ тяговомъ отношеніи.

Въ тяговомъ отношеніи можно признать тотъ варіантъ проекта желѣзной дороги, который для поѣзда полнаго состава и даннаго паровоза даетъ наименьшій расходъ топлива и воды. Расходъ же топлива и воды меньше, если меньше средняя мощность, развиваемая паровозомъ на разсматриваемомъ перегонѣ, такъ какъ расходъ воды a и топлива b на I л.с.-часъ для даннаго типа паровоза можно считать въ первомъ приближеніи почти постояннымъ, во всякомъ случаѣ ихъ можно положить равными при сравненіи

двухъ варіантовъ дороги. Такимъ образомъ нужно опредѣлить среднюю мощность N_e паровоза на данномъ участкѣ пути. Для этого /фиг.34/ воспользуемся кривой скорости $V=\varphi(S)$. Въ координатныхъ осяхъ V и Z строимъ характеристику силы тяги паровоза. Тогда для любой скорости V_1 находимъ и силу тяги Z_1, а слѣдовательно, и полезную мощность $N_e=\frac{Z.V}{270}$. Полученныя значенія N_e въ произвольно-принятомъ масштабѣ откладываемъ по ординатной кривой V. Тогда, соединяя полученныя точки, получимъ кривую $N=\psi(S)$. Планиметруя площадь, ограниченную осью S и кривой N_e и дѣля площадь на S, получимъ среднее значеніе мощности $N_{e\,средн.}$. Сравнивая два варіанта, надо сдѣлать 4 такихъ построенія, т.е. для пути туда и обратно для двухъ варіантовъ и выбрать тотъ, для котораго



Фиг. 34.

$$\frac{N_{e_1\,средн}+N_{e\,средн.}}{2}=N_e'$$

будетъ меньше

Нѣкоторое основаніе для сравненія варіантовъ есть также тяговая виртуальная длина. Въ этомъ случаѣ мы должны привести сравниваемые варіанты къ горизонтали,

пользуясь правиломъ, что длина произвольнаго участка съ показателемъ подъема i равная S_i, можетъ быть замѣнена горизонталью $S_o = S_i (1 \pm S)$, причемъ прибавка $\pm S$ опредѣляется по діаграммѣ $i - S$ Борриса, въ которой учитывается и типъ паровоза и составъ поѣзда. Основанія опредѣленія виртуальной длины изложены въ § II. Тотъ варіантъ дороги лучше, для котораго общая виртуальная длина меньше.

Наконецъ, возможно произвести полное сокращеніе профиля по правиламъ, описаннымъ въ § I2. Какъ результатъ, мы получимъ для даннаго участка средній показатель подъема i средн. $= \frac{h_2 - h_1}{\Sigma L}$, , причемъ тотъ варіантъ въ тяговомъ отношеніи лучше, для котораго i средн. получается меньше, если только i средн. $\leqslant i_o$ показатель наибольшаго безвреднаго подъема. Разсматривая же профиль дороги, въ частности слѣдуетъ имѣть въ виду правила о предѣльныхъ подъемахъ.

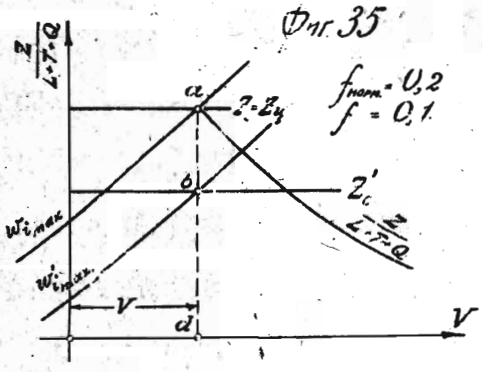
§ I7. Особые случаи тяги поѣздовъ: двойная тяга, движеніе на крутыхъ подъемахъ и въ туннеляхъ.

Въ случаяхъ, когда необходимо отправить составъ поѣзда увеличеннаго вѣса, который не подъ силу одному паровозу, въ случаѣ дурныхъ условій погоды при нормальномъ вѣсѣ поѣзда, въ случаѣ нагона большихъ опозданій,- ставятъ въ поѣздъ два паровоза. Обычно оба паровоза ставятся одинъ за другимъ въ главу поѣзда и тогда движеніе называется двойной тягой. При тяжелыхъ товарныхъ поѣздахъ, въ особенности при движеніи по тяжелымъ подъемамъ, для уменьшенія напряженія сцѣпныхъ приборовъ, второй паровозъ ставятъ въ хво-

стѣ поѣзда; тогда онъ называется подталкивающимъ. Эксплоатація поѣздовъ двойной тягой крайне невыгодна, ибо относительный расходъ топлива выходитъ больше, ибо больше безполезный вѣсъ /паровозъ и тендеръ/ относительно вѣса полезнаго /вагоны/ Кромѣ того, двойная тяга вызываетъ двойной расходъ на персоналъ, выводитъ непроизводительно паровозъ изъ тура; работа каждаго паровоза оказывается далеко не вполнѣ использованной. Кромѣ того, двойная тяга отражается и на пути, который напрягается сильнѣе. По этому стараются по возможности избѣгать двойную тягу и прибѣгаютъ къ ней въ случаяхъ дѣйствительной необходимости.

Случай двойной тяги оказывается выгоднымъ только тогда, когда на дорогѣ имѣется короткій участокъ съ очень тяжелымъ подъемомъ, а остальной путь въ ~~очень~~ общемъ легкій. Тогда на этомъ трудномъ участкѣ даютъ подталкивающіе паровозы. Но и то часто выгоднѣе обслуживать такіе особо трудные участки, при достаточной ихъ длинѣ, или болѣе тяжелыми танкъ-паровозами или же электровозами

Особый случай движенія представляютъ изъ себя туннели. Въ виду обычной значительной сырости въ туннеляхъ рельсы въ туннеляхъ влажны. Поэтому коэффиціентъ сцѣпленія уменьшается съ 0,2 /нормальный/ часто до 0,1. Это вызываетъ значительное уменьшеніе /вдвое/ сцѣпной силы тяги паровоза, поэтому въ туннеляхъ слѣдуетъ уменьшать величину предѣльнаго уклона, что можно рѣшить слѣдующимъ образомъ: /фиг.35/

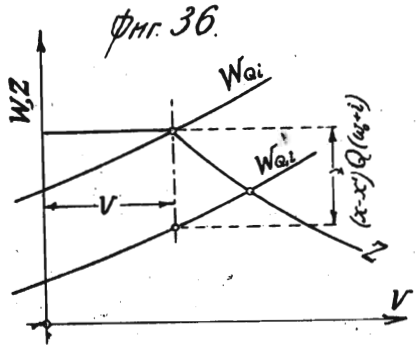


Построимъ кривыя удѣльной силы тяги $z=\frac{Z}{L+T+Q}$ и кривую удѣльнаго сопротивленія $w_{i\,max}$ (~~Получаются скорость движенія на наибольшемъ подъемѣ. Начертимъ новую кривую удѣльной сцѣпной силы тяг. и кривую удѣльнаго сопротивленія Получается скорость движенія на наибольшемъ подъемѣ~~) Начертимъ новую кривую удѣльной сцѣпной силы тяги при уменьшенномъ коэффиціентѣ сцѣпленія z'_c .Тогда, если мы желаемъ сохранить ту же скорость движенія V, то должны удѣльное сопротивление при скорости V понизить съ ad до bd , т.е. на $ab\left[\frac{kg}{tn}\right]$ но такъ какъ $ad=w_o+i_{max}$, а $bd=w_o+i'_{max}$, то находимъ, что $ab=i_{max}-i'_{max}$,т.е. получаемъ , насколько намъ нужно уменьшить предѣльный подъемъ въ туннелѣ ж/ По техническимъ условіямъ принято въ среднемъ: въ туннеляхъ $i'_{max}=\frac{2}{3}i_{max}$ для открытой дороги.

Другой особенностью движенія въ туннелѣ является то обстоятельство, что при слабой вентиляціи длинныхъ туннелей, а при густомъ движеніи и въ короткихъ туннеляхъ-полу

ж/ Вмѣсто уменьшенія предѣльнаго подъема въ туннеляхъ можно, конечно примѣнять двойную тягу или болѣе мощные типы локомотивовъ;пониженіе подъема, однако, выгоднѣе.

детъ равно



Фиг. 36.

$$W_{Q_i} = (L+T)(w_0+i) + (1-x)Q(w_0+i) + x\,Q(w_0+i)$$

Если мы обратно пустимъ поѣздъ съ тою же тарою, но полногрузностью x' съ тою же скоростью V по такому же подъему $i'‰$ то въ этомъ случаѣ сопротивленіе поѣзда выразится

$$W_{Q_i}' = (L+T)(w_0+i) + (1-x)Q(w_0+i) + x'Q(w_0+i)$$

Послѣдняя величина меньше первой на величину $(x-x')Q(w_0+i)$ между тѣмъ сила тяги паровоза Z при скорости V должна быть взята равной величинѣ W_{Q_i} для полнаго использованія паровоза. Поэтому избытокъ силы тяги: $(x-x')Q(w_0+i)$ можетъ быть использованъ съ цѣлью увеличенія показателя подъема на $i'‰$ причемъ, ясно, что добавочное сопротивленіе отъ увеличенія показателя подъема выразится для поѣзда величиною

$$i'[(1-x)Q + x'Q + L + T]$$

которую, для опредѣленія i' мы можемъ приравнять избытку силы тяги $(x-x')Q(w_0+i)$

Тогда

$$(x-x')Q(w_0+i) = i'[(1-x)Q + x'Q + L + T],$$

откуда

$$i'‰ = \frac{Q(x-x')(w_0+i)}{(1-x)Q + x'Q + L + T} =$$

$$= \frac{(x-x')(w_0+i)}{1-(x-x') + \frac{L+T}{Q}}$$

При $x'=0$, , т.е. когда обратно возвращаются совершенно порожніе вагоны, значеніе i' обращается въ

$$i'_0‰ = \frac{x(w_0+i)}{1-x+\frac{L+T}{Q}}$$

Итакъ, если въ грузовомъ направленіи допущенъ максимальный подъемъ съ показателемъ $i‰$; то въ обратномъ негрузовомъ направленіи слѣдуетъ для того же использования паровозовъ допустить большій подъемъ, а именно

$$(i+i')‰ = i_{max}‰$$

причемъ i_{max} будетъ тѣмъ больше, чѣмъ полногрузнѣе идутъ вагоны въ грузовомъ направленіи; чѣмъ больше w_0 т.е. чѣмъ больше скорость движенія V по подъему; чѣмъ больше i , т.е. наибольшій подъемъ въ грузовомъ направленіи и чѣмъ больше Q , т.е. вѣсъ поѣзда въ грузовомъ направленіи. Напоминаемъ, что коэффиціентомъ полногрузности x мы называемъ отношеніе полезнаго груза вагона къ его вѣсу брутто. Максимальное возможное значеніе x для нашихъ нормальныхъ вагоновъ съ 900 пудовой полной нагрузкой есть 0,67; для 1000 пудовой нагрузки /новой нормальной/ -0,7.

§ 19. Опредѣленіе коэффиціента a въ формулѣ Франка $\frac{N_e}{H} = a\sqrt{V}$ по даннымъ относительно мощности паровоза.

Часто возникаетъ задача такого характера: данный паровозъ $(L+T)$ на подъемѣ $i‰$ везетъ поѣздъ вѣса $Q[т]$ со скоростью $V[\frac{km}{h}]$. опредѣлить, съ какой скоростью

чения кривыхъ Z_1 и W_1 будетъ искомая скорость установившагося движенія.

ОГЛАВЛЕНІЕ.

ЧАСТЬ I. ПАРОВОЗЪ.

стр

§ I. Схема устройства паровоза..... I

Глава I. ПАРОВОЗНЫЙ КОТЕЛЪ.

§ 2. Общее устройство паровознаго котла и его отдѣльныхъ частей..... 3

§ 3. Укрѣпленіе котла на рамахъ паровоза.. 8

§ 4. Особенности котла паровоза при нефтяномъ отопленіи..... I0

§ 5. Спеціальная арматура паровознаго котла. I2

§ 6. Полезное дѣйствіе котла. Тепловой балансъ котла паровоза..... I5

§ 7. Работа паровознаго котла: парообразовательная способность топлива, интенсивность парообразованія и живость горѣнія въ топкѣ..... I7

§ 8. Живость горѣнія $\frac{B}{R}$ и ея зависимость отъ разрѣженія въ дымовой коробкѣ..... 20

§ 9. Регулированіе работы котла..... 23

Глава II. УСТРОЙСТВО И ДѢЙСТВІЕ МАШИНЫ ПАРОВОЗА.

§ I0. Устройство машины паровоза..... 25

стр.

§ II. Коэффиціентъ полезнаго дѣйствія машины и паровоза..... 31

§ I2. Потеря въ машинѣ. Улучшеніе паровозовъ: принципъ компаундъ и перегрѣвъ пара..... 32

§ I3. Индикаторная и полезная мощность паровоза и ея регулированіе (управленіе паровозомъ) 37

§ I4. О силахъ дѣйствующихъ въ машинѣ паровоза. Вращающее усиліе..... 39

§ I5. Сила сцѣпленія. Условіе для поступательнаго движенія. Опредѣленіе силы тяги..... 4I

§ I6. Средняя за одинъ оборотъ сила тяги. Цилиндровая наибольшая сила тяги паровоза..... 43

§ I7 Зависимость силы тяги отъ скорости движенія паровоза. Котловая (паровая) сила тяги P_1..... 44

Глава III СИЛЫ ИНЕРЦІИ ДВИЖУЩИХСЯ ЧАСТЕЙ ПАРОВОЗНОЙ МАШИНЫ.

§ I8 Силы инерціи вращающихся массъ, центръ тяжести которыхъ не совпадаетъ съ центромъ вращенія..... 47

§ I9 Силы инерціи ведущаго шатуна..... 49

стр.

§ 20. Силы инерціи возвратно движущихся массъ..... 53

§ 2I. Равнодѣйствующія вертикальная и горизонтальная силы инерціи движущихся частей и ихъ вліяніе на движеніе паровоза..... 54

§ 22. Задача уравновѣшенія силъ инерціи и ея рѣшеніе..... 55

§ 23. Разсчетъ дѣйствительныхъ противовѣсовъ 57

§ 24. Возникновеніе и величина подергиваній паровоза. Усиліе передаваемое упряжной рессорой между паровозомъ и тендеромъ..... 6I

Глава IУ. ВЗАИМОДѢЙСТВІЕ КОЛЕСА И РЕЛЬСА.

§ 25. Понятіе о рессорахъ и качаніи подвѣшенной части паровоза. Вліяніе качанія рессоръ на вертикальное давленіе колеса на рельсъ..... 65

§ 26. Дѣйствіе на путь противовѣса возвратно движущихся массъ..... 70

§ 27. Дѣйствіе на путь силы, приложенной къ параллелямъ паровоза..... 72

§ 28. Полная величина вертикальнаго давленія колеса на рельсъ..... 73

§ 29. Вилянiе паровоза..... 75

стр.

§ 30. Опредѣленіе горизонтальнаго давленія колеса на рельсъ..... 78

§ 3I. Понятіе объ " уравновѣшенныхъ паровозахъ"..... 82

Глава У. УСТРОЙСТВО ЭКИПАЖА И ВПИСЫВАНІЕ ЕГО ВЪ КРИВЫЯ.

§ 32. Устройство экипажа..... 84

§ 33. О вписываніи экипажа въ кривую..... 86

§ 34. Наивыгоднѣйшая база двухосныхъ экипажей..... 88

§ 35. Вписываніе многоосныхъ базъ и средства къ облегченію прохода кривыхъ.... 89

§ 36. О способѣ графическаго изображенія вписыванія экипажа въ кривую..... 93

§ 37. О давленіи колеса на внѣшній рельсъ въ кривыхъ..... 95

ЧАСТЬ II.

ТЕНДЕРА И ВАГОНЫ. МАСТЕРСКІЯ.

§ I. Тендеръ..... 99

§ 2. Пассажирскіе вагоны..... I03

§ 3. Товарные вагоны..... II0

§ 4. Освѣщеніе, отопленіе и вентиляція вагоновъ..... II5

§ 5. Чистка и дезинфекція вагоновъ..... I20

стр.
§ 6. Автоматическая сцѣпка вагоновъ..... I23
§ 7. Устройство поѣздныхъ тормазовъ..... I26
§ 8. Элементарное понятіе о желѣзно-дорожныхъ мастерскихъ..... I33
§ 9. Срокъ службы подвижного состава, его инвентарная стоимость..... I38

ЧАСТЬ III.

ТЕОРІЯ ТЯГИ ПОѢЗДОВЪ.

§ I. Уравненіе движенія поѣзда..... I.
§ 2. Сила тяги паровоза..... 4
§ 3. Сопротивленіе поѣзда..... 6
§ 4. Кривыя ускореній $\frac{dv}{dT} = 120\,\frac{z-w}{Z+T+Q}\left[\frac{km}{h^2}\right]$ II
§ 5. Скорость установившагося движенія. Разсчетъ времени хода поѣзда по установившимся скоростямъ..... II
§ 6. Построеніе кривой скорости поѣзда, какъ функціи времени. Способъ Дедуи..... I4
§ 7. Построеніе кривой скорости, какъ функціи пути (способъ предложенный А.Липецомъ)..... I9
§ 8. Подъемъ преодолѣваемый живою силою поѣзда..... 26
§ 9. Потеря времени при первоначальномъ разгонѣ поѣзда и при его остановкѣ..... 29
§ I0. Законъ торможенія. Сила торможенія. 32

стр.

§ 10. Тормазныя тяговыя задачи..... 32

§ 11. Разсчетъ времени хода поѣзда по виртуальной длинѣ и основной скорости.. 45

§ 12. Сокращеніе профиля..... 50

§ 13. О наивыгоднѣйшемъ составѣ и наивыгоднѣйшей скорости товарныхъ поѣздовъ..... 52

§ 14. Безвредные и вредные подъемы. Выгодность предѣльнаго допускаемаго подъема.. 59

§ 15. Потерянный подъемъ..... 64

§ 16. Сравненіе варіантовъ въ тяговомъ отношеніи..... 68

§ 17. Особые случаи тяги поѣздовъ: двойная тяга, движеніе на крутыхъ подъемахъ и въ туннеляхъ..... 70

§ 18. Разсчетные наибольшіе подъемы линіи при неодинаковомъ грузооборотѣ въ обѣ стороны..... 73

§ 19. Опредѣленіе коэффиціента α въ формулѣ Франка $\frac{N_e}{H} = \alpha\sqrt{v}$ по даннымъ относительно мощности паровоза...75.