

Rura, łącząca cylindry wysokoprężne i niskoprężne, tak jest urządzona, że nie przeszkadza wzajemnemu obrotowi wozaków, co ułatwia znacznie przejście parowozu po łukach.

Parowozy dwuprężne mają tę wyższość, że rozchodują mniej pary, a zatem i paliwa, niż parowozy jednoprężne. W parowozach dwuprężnych z dwoma cylindrami oszczędność wody i paliwa dosięga 20%, a w parowozach z czterema cylindrami nawet 30% w porównaniu ze zwykłymi parowozami tejże mocy, wskutek tego stosowanie parowozów dwuprężnych coraz bardziej się rozpowszechnia.

Ponieważ przy rozprężaniu dwukrotnem świeża para ma dostęp tylko do jednego cylindra, więc potrzebne są urządzenia, pozwalające przy ruszaniu z miejsca lub w innych razach wpuszczać w miarę potrzeby świeżą parę do obu cylindrów. Urządzenia te nazywają się *przyrządami do ruszania z miejsca*. Wobec tej właściwości parowozów dwuprężnych, przedstawiającej obecnie jeszcze pewne niedogodności, system ten nie jest stosowany do parowozów, które pracują z częstymi przerwami, jakoto: manewrowych, towarowo-osobowych, dla ruchu podmiejskiego i t. p.

Ciężar parowozów dla dróg żelaznych pierwszorzędного znaczenia waha się w granicach od 35 do 70 t w stanie próżnym, co odpowiada 40 — 80 t w stanie roboczym.

Obciążenie osi napędnej na drogach żel. rosyjskich nie przekracza 15 t.

Tendry bywają o dwóch, trzech lub czterech osiach i mieszczą w sobie zapas od 8 do 20 m³ wody i od 3 do 8 t węgla.

Ciężar własny tendrów wynosi od 70% do 90% ich obciążenia. Całkowita waga tendrów wynosi we współczesnych typach trzyosiowych od 27 do 40 t, a w czteroosiowych od 36 do 50 t, t. j. od 9 do 13 t na oś.

Koszt parowozów z tendrami wynosi w Rosyi przy terażniejszych cenach od 530 do 600 rub. na tonnę ogólnego ich ciężaru, w zależności od ustroju.

Dane, dotyczące niektórych charakterystycznych typów parowozów i tendrów, zamieszczone są w poniższej tablicy (patrz str. 42).

ROZDZIAŁ IV.

O p ó r p o c i ą g ó w.

1. Rozbiór części składowych oporu pociągów. Opór na prostej poziomej, na pochyleniach i w łukach. Bezwładność pociągu.

Na opór pociągu, biegnącego po torze prostym i poziomym, składają się głównie następujące czynniki:

1) opór tarcia czopów osiowych w panwiach, 2) opór toczeniu się kół po szynach, 3) opór tarcia obręczy kół po szynach wskutek stożkowatości obręczy i bocznych przesunięć zestawów kół, 4) opór od uderzeń wskutek nierówności na powierzchniach tocznych obręczy i szyn, i 5) opór powietrza.

P a r o w o z y										T e n d r y				
Nazwa drogi	C y l i n d r y		D średnica koł na- pędnych mm	p manome- tryczna prężność pary w kołie atm	Ilość osi	H powierzchnia ogrzewalna m ²	R powierzchnia rusztów m ²	C i ęż a r			Ilość osi	Zapas paliwa t	Zapas wody m ³	Ciężar w stanie roboczym t
	d średnica mm	l skok mm						w stanie próżnym t	w stanie roboczym t	napędny (nacisk osi na- pędnych) t				
Osobowe:														
Dr. żel. Mikołajewska . . .	720	650	1900	11,0	3/4	163,0	2,20	52,0	57,4	43,9	3	7	14	36,5
Władykauską . . .	480	650	1830	12,0	3/5	152,3	2,16	56,7	63,7	43,8	4	5,5	20,1	44,8
Warsz.-Wiedeńska . . .	730	650	1980	13,0	2/5	166,0	2,87	60,7	66,8	29,6	3	4	15	36,2
„	500	600	1980	12,0	2/5	148,6	2,32	47,2	53,0	26,2	3	4,9	14	36,1
Kaliska.	2 X 550	600	1980	12,0	2/4	103,0	1,80	33,0	37,0	25,3	3	5	12	32,1
„	2 X 360	560	1730	12,0	2/3	103,0	1,80	33,0	37,0	25,3	3	5	12	32,1
rządowe Pruskie . . .	400	560	1730	12,0	2/3	103,0	1,80	33,0	37,0	25,3	3	5	12	32,1
„	630	580	1730	12,0	2/3	103,0	1,80	35,0	39,0	26,7	3	5	12	32,1
„	440	580	1730	12,0	2/3	103,0	1,80	35,0	39,0	26,7	3	5	12	32,1
Towarowe:														
Dr. żel. Kaliska.	730	650	1200	11,5	4/4	152,6	1,85	46,4	53,7	53,7	3	5,3	14	35,5
„	500	650	1300	12,0	4/4	162,3	2,10	49,6	55,6	55,6	3	5	15	35,9
Warsz.-Wiedeńska . . .	770	650	1300	12,0	4/4	162,3	2,10	49,6	55,6	55,6	3	5	15	35,9
„	520	650	1300	12,0	4/4	162,3	2,10	48,1	53,7	53,7	3	5	15	35,9
„	490	650	1300	12,0	4/4	162,3	2,10	48,1	53,7	53,7	3	5	15	35,9
„	685	612	1230	12,0	3/3	117,9	1,40	33,5	39,6	39,6	2	6	10	27,7
Wirtemberskie . . .	480	612	1230	12,0	3/3	117,9	1,40	33,5	39,6	39,6	2	6	10	27,7
„	740	632	1290	13,4	3/4	144,7	2,69	—	53,5	43,1	3	4,8	12	31,8
rządowe Austriackie	520	632	1290	13,4	3/4	144,7	2,69	—	53,5	43,1	3	4,8	12	31,8
Bezładrowe:														
Dr. żel. rządowe Pruskie. .	420	600	1580	12,0	2/4	90,0	1,60	32,6	41,9	28,0	—	1,8	5	—
„	450	650	1200	10,0	2/3	100,0	1,45	35,7	43,0	43,0	—	1	3	—
Mikołajewska . . .	450	650	1200	10,0	2/3	100,0	1,45	35,7	43,0	43,0	—	1	3	—

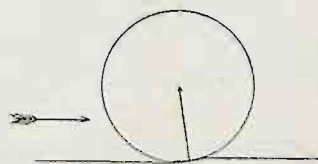
Oprócz tych oporów, będących właściwością całego taboru ruchomego, t. j. zarówno wagonów, jakoteż parowozów, istnieją jeszcze opory wewnętrzne mechanizmu parowozu, wywołane tarciem ruchomych części silnika oraz tarciem wychodzącej z cylindrów zużytej pary, lub gazów (podczas ruchu z zamkniętą przepustnicą).

Tarcie czopów osiowych w panwiach pozostaje głównie w zależności od obciążenia czopa i od właściwości zwilżających je smarów, a mianowicie od wewnętrznego tarcia w warstwie smaru, oddzielającej panewkę od czopa.

Jeżeli oznaczymy przez P obciążenie czopa i przez f_1 współczynnik tarcia, to tarcie na obwodzie czopa będzie się równać $f_1 P$, opór zaś, wywołany tem tarciem, mierzony na obwodzie koła, będzie się równać $\frac{\delta}{D} f_1 P$, jeżeli δ oznacza średnicę czopa, a D średnicę koła. Współczynnik f_1 zależy od temperatury. Zimą tarcie na czopach jest większe niż latem. Wpływ szybkości na wielkość współczynnika f_1 , jak wykazują spostrzeżenia, jest tak mały, że można go nie brać w rachubę.

Opór toczeniu się kół po szynach pochodzi prawdopodobnie wskutek zgniatania się materiału obręczy i szyny w punkcie, w którym do siebie przylegają. Nacisk koła przenosi się na bardzo nieznaczną płaszczyznę powierzchni szyny i wskutek tego prawdopodobnie natężenia materiału w punkcie przylegania koła przekraczają granicę sprężystości. Koło tocząc się zgniata znajdujące się przed nim cząsteczki materiału szyny, wskutek czego odpór naciskowi koła odchyła się od pionu ku przodowi (rys. 33), dając siłę składową poziomą.

Rys. 33.



Według spostrzeżeń Coulomb'a i Morin'a opór przy toczeniu się kół po szynach znajduje się w stosunku prostym do nacisku koła i w odwrotnym do jego średnicy. Wpływu szybkości na wielkość tego oporu nie zauważono.

Tarcie połączone z częściowym ślizganiem się kół po szynach powstaje z następujących powodów.

Oddzielne punkty powierzchni stykania się z szyną obręczy (nie wyłączając obrzeża) należą do łuków o różnych promieniach. Również okręgi toczne kół, należących do jednego zestawu, nie są wogóle jednakowe za wyjątkiem wypadku, gdy położenie zestawu względem osi toru jest zupełnie symetryczne. Ponieważ wszystkie punkty stykania się koła z szyną winny przebiegać jednakowo długie drogi, powstaje więc wskutek wymienionych przyczyn ślizganie się po szynach niektórych z tychże punktów.

Opór, wywołany pomieniem tarciem, równa się naciskowi koła pomnożonemu przez pewien współczynnik, zależny od właściwości ciał podległych tarcia i od kształtu ich powierzchni. Niektórzy badacze znajdują, że krętość ruchu, a więc i wynikające z niej tarcie, zwiększa się w stosunku prostym do szybkości, jednakże zależność ta nie jest jeszcze dostatecznie stwierdzona. Z drugiej strony wiadomo, że współczynnik tarcia zmniejsza się wraz z szybkością.

Opór od uderzeń, powodujących zmniejszenie żywej siły masy będącej w ruchu,

powinien zależeć od wielkości tej masy i od jej szybkości. Przyjmuje się zwykle, że opór ten pozostaje w stosunku prostym do kwadratu szybkości, jednakże według prof. Petrowa powinien on zmieniać się wolniej i należy wyrażać go dwoma wyrazami, z których jeden zależy od pierwszej potęgi szybkości, drugi zaś od jej kwadratu.

Opór powietrza pochodzi głównie wskutek bezwładności jego cząsteczek, wprowadzanych w ruch płaszczyznami pociągu, prostopadłymi do kierunku ruchu. Jeżeli wielkości tych płaszczyzn oznaczmy przez Ω , to energia rozpędu (siła żywa), którą nabywają cząsteczki powietrza, będąc przesunięte przy ruchu pociągu na jednostkę długości, wyrazi się:

$$\psi \Omega \delta \frac{v^2}{2g}$$

W wyrazie tym (który przedstawia również pracę oporu powietrza na jednostkę długości w *mkg* lub tenże opór w *kg*) oznacza δ ciężar jednostki objętości powietrza i ψ pewien współczynnik doświadczalny, pozostający w zależności od wielkości i kształtu powierzchni oporu, od szybkości ruchu i t. p.

Z doświadczeń otrzymano, że opór powietrza przy ruchu płaszczyzny wielkości 1 m^2 , poruszającej się z prędkością 1 *m* na sekundę w kierunku prostopadłym do siebie samej, wynosi:

$$\lambda = \frac{\psi \delta}{2g} = 0,1225 \text{ kg}$$

a więc jeżeli płaszczyzna, opierająca się powietrzu równa się Ω , a prędkość ruchu w kierunku do niej prostopadłym v , to opór powietrza wyrazi się $\lambda \Omega v^2$.

Wiatr, wiejący w kierunku osi pociągu z prędkością v_1 , zwiększa lub zmniejsza o tęż wielkość szybkość posuwania się pociągu względnie do środowiska powietrznego, w którym on się porusza. Z tego powodu opór powietrza podczas wiatru, wiejącego w kierunku ruchu, wyniesie $\lambda \Omega (v \pm v_1)^2$ w zależności od tego, jaki wiatr wieje: pomyślny, czy też przeciwny.

Wiatr boczny przyciska obrzeża obręczy kół do jednej szyny i powstające wskutek tego tarcie zwiększa opór pociągu. Jeżeli oznaczmy boczną powierzchnię parowozu z tendrem przez ω_1 , wagonu przez ω_2 , ilość wagonów przez n i szybkość wiatru w kierunku prostopadłym do pociągu przez v_2 , to ciśnienie wiatru na boczną powierzchnię pociągu $C = \lambda(\omega_1 + n\omega_2)v_2^2$, opór zaś pociągu wskutek tego ciśnienia otrzymamy, mnożąc powyższy wyraz przez współczynnik tarcia obręczy o szynę, który można przyjąć średnio $f = \frac{1}{6}$, a więc:

$$Cf = \lambda f(\omega_1 + n\omega_2)v_2^2 = 0,0204 (\omega_1 + n\omega_2)v_2^2 \dots \dots \dots (19)$$

Silny wiatr posiada prędkość od 5 do 10 *m/sek*. Szybkość wiatru podczas huraganów dosięga 40 *m/sek*.

Wszystkie przytoczone powyżej opory można podzielić na zależne i niezależne od szybkości ruchu.

Średnice kół i czopów osiowych różnią się w praktyce nieznacznie. Również do wyrobu szyn, osi, obręczy i panwi stosowane są na kolejach materiały, posiadające określone i mało zmieniające się właściwości pod względem tarcia. Wobec

tego opory pociągu, niezależne od szybkości, mogą być wyrażone w postaci iloczynu z ciężaru taboru ruchomego przez pewien współczynnik doświadczalny, zależny od ustroju i należytego stanu toru i taboru ruchomego, wpływających na tarcie między obręczami i szynami, oraz od rodzaju smaru.

Z oporów, zależnych od szybkości ruchu, być może, że opór, powstający wskutek uderzeń kół, zmienia się przy znacznej szybkości wolniej niż w stosunku prostym do kwadratu szybkości. Jeżeli jednak, wobec braku w tym przedmiocie danych doświadczalnych, przypuścimy, że opór ten zmienia się rzeczywiście w tym stosunku, t. j. tak samo, jak opór powietrza, to wszystkie opory zależne od szybkości przyjmą ogólną postać: $\lambda \Omega v^2$. W wyrazie tym oznacza λ współczynnik doświadczalny, a pod Ω można rozumieć pewną płaszczyzną urojoną, opierającą się powietrzu, większą niż rzeczywista.

Co się tyczy *oporów wewnętrznych mechanizmu* parowozu, to opór wskutek tarcia między poszczególnymi częściami silnika winien zależeć od ciśnienia na tłoki i prawdopodobnie także od szybkości ruchu, opór zaś wskutek tarcia pary zużytej i gazów zależy od szybkości ruchu, wielkości wylotów, szczelności przylegania suwaków do powierzchni, po których się ślizgają i t. p. Zależności te nie są jeszcze dotychczas dokładnie zbadane i opór wewnętrzny parowozu włącza się zwykle do całkowitego oporu tegoż, określanego w zależności od ciężaru parowozu i jego szybkości.

Gdy pociąg biegnie po pochyłości, to składowa siły ciężkości, równoległa do toru, działa na wzniesieniach w kierunku zwiększenia oporu pociągu, na spadkach zaś w kierunku zmniejszenia tegoż oporu.

Pomieniona siła składowa równa się ciężarowi pociągu, pomnożonemu przez wstawę kąta, który tworzy linia pochyłości z poziomem, t. j. przez stosunek wysokości pochyłości do jej długości. Stosunek ten przyjęto nazywać *pochyleniem linii*. Zatem opór pociągu zwiększa się na wzniesieniu o ciężar pociągu, pomnożony przez wielkość pochylenia linii, na spadku zaś zmniejsza się o tęż wielkość.

Opór w łukach, powstający wskutek zwiększenia się tarcia między obręczami i szynami, znajduje się, jak to zaznaczono powyżej (por. str. 15), w skomplikowanej zależności od bardzo wielu przyczyn. W liczbie główniejszych czynników, wpływających na dodatkowy opór w łukach, muszą oczywiście znajdować się wielkości promienia łuku i podstawy sztywnej pojazdu. Nie podlega jednak wątpliwości, że na pomieniony opór wpływa również wielkość luzu pomiędzy obręczą i szyną oraz wzniesienie szyny zewnętrznej nad wewnętrzną, chociaż dotychczasowe doświadczenia jeszcze nie wyjaśniły w dostatecznej mierze jak się wyraża wpływ tych okoliczności.

Całkowity opór pociągu, biegnącego z pewną szybkością, będzie się oczywiście równał sile pociągowej, zaledwie wystarczającej do przewyciężenia tego oporu i do podtrzymania jednostajnej szybkości ruchu.

W razie ruchu niejednostajnego, przyspieszenia pociągu dodatnie lub ujemne sprawia siła, stanowiąca różnicę pomiędzy całkowitą siłą pociągową i tą jej częścią, która się wydaturkuje na przewyciężenie oporów pociągu. Pomieniona siła, nadająca pociągowi pewne przyspieszenie, równa się oczywiście *sile bezwładności*

okoliczności biegu pociągu i profil linii są wiadome, to można określić opór pociągu znając siłę pociagową lub, odwrotnie, określić tę ostatnią znając opór pociągu. Z tego powodu sposoby pośredniego i bezpośredniego określenia obu tych sił muszą być jedne i te same i poniżej rozpatrywane są wspólnie.

Praca stałych silników parowych mierzy się zwykle za pomocą siłomierzy i indykatorów.

Siłomierze hamulcowe, urządzone według zasady przyjętej w znanym siłomierzu Prony'ego, do parowozów zastosowania mieć nie mogą. Co się zaś tyczy siłomierzy sprężynowych, to jakkolwiek mogą być one włączane bez szczególnych trudności w sprzęgła pomiędzy parowozem i wagonami lub między specjalnym parowozem i pociągiem w pełnym składzie, jednak w obu wypadkach wskazanie siłomierza nie ujawni bardzo znacznej części pracy parowozu, która zużywa się na przewyciężenie oporu powietrza, gdyż opór ten przewycięża parowóz, ciągnący za sobą za pośrednictwem siłomierza obserwowany pociąg. Oprócz tego, wskutek ciągłego wahania się wielkości oporu i siły pociągowej, wskazania siłomierzy sprężynowych są bardzo niewyraźne.

Indykatory dają możliwość określania całkowitej pracy pary w cylindrach i mogą być stosowane do parowozów nawet przy dużych szybkościach. Jeżeli pomimo to indykatory nie zawsze bywają stosowane do określenia pracy parowozu i oporów, jakie on przewycięża, to przypisać to należy tej okoliczności, że zdejmowanie wykresów za pomocą indykatora na parowozie, będącym w ruchu, nie jest tak dogodne, jak na silniku stałym i że przyspieszenia, które nabywa tłok indykatora przy znacznych szybkościach, wpływają na dokładność jego wskazań.

Bardzo pomysłowe urządzenie, służące do spostrzeżeń nad pracą wskazaną pary w cylindrach parowozów, zastosowane zostało przez Goss'a w *laboratorium uniwersytetu w Purdue* w Ameryce.

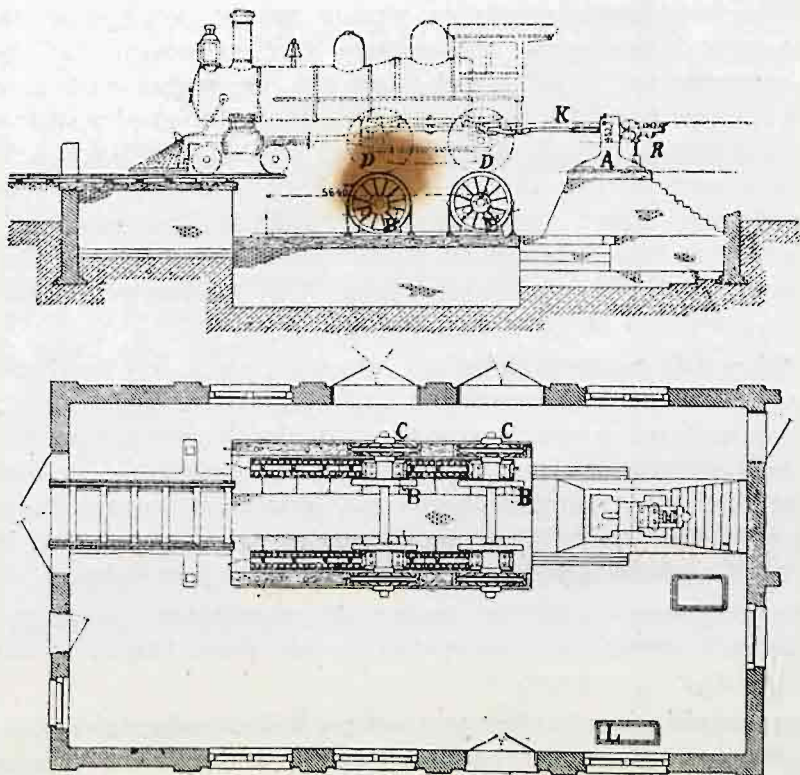
Badany parowóz (rys. 34), przytrzymywany w stałej odległości od postawy *A*, opiera się kołami napędzonymi *DD* na kołach *BB*, obracających się w panwiach nieruchomych. Gdy parowóz pracuje, to obrót kół napędznych udziela się również kołom podtrzymującym, o ile opór, przeciwny obracaniu się tych ostatnich, nie przewyższa tarcia między jednymi i drugimi. Wspomniany opór może być dowolnie zwiększany za pomocą tarcz hamulcowych *CC*, osadzonych na osiach tychże kół podtrzymujących, wymagając do ich obrotu odpowiedniego zwiększenia siły pociągowej parowozu. Siła pociągowa przy haku sprzęgowym *K* mierzy się za pomocą maszyny rozrywającej z tłoczną hydrauliczną, przez co unika się wszelkiego postępowego ruchu parowozu. Jednocześnie zdejmowane są wykresy za pomocą indykatora. W ten sposób otrzymuje się możliwość określenia całkowitej siły pociągowej parowozu przy rozmaitych szybkościach i napełnieniach cylindrów oraz (po odjęciu siły ciągnięcia przy haku sprzęgowym) określenia oporu parowozu.

Najprostszy sposób pośredniego określenia siły pociągowej i oporu pociągu polega na *zmierzeniu przyspieszenia biegu pociągu*. Szczególnym wypadkiem tego sposobu jest obserwowanie w jakich warunkach przyspieszenie równa się zeru, co świadczy, że siły poruszające równają się siłom oporów.

Przyśpieszenie można określać obserwując czas w pewnych odstępach przebieżonej drogi, lub też obserwując szybkość w pewnych odstępach czasu, lub wreszcie mierząc przyśpieszenie bezpośrednio za pomocą osobnego przyrządu.

C z ę ś ć p l a n u.

Rys. 34.



Obserwowanie czasu w określonych odstępach przebieżonej drogi nie wymaga żadnych innych przyrządów oprócz zegarka. Odczytywanie czasu w drobnych odstępach nie może być dokonywane z należyłą dokładnością na zwykłym zegarku, i w tym razie dogodniej jest użyć *chronografu*, t. j. sekundomierza ze wskazówką, która znaczy na cyferblacie moment spostrzeżenia nie zatrzymując się w biegu. Za pomocą chronografu można odnotowywać z dokładnością do $\frac{1}{5}$ sekundy czas przy mijaniu pikietów, przejściu złączy szyn lub co pewną ilość obrotów koła, uderzeń tłoka i t. p.

Odłożywszy na osiach współrzędnych otrzymane znaczenia funkcji $l = f(t)$, t. j. czasu odpowiadającego przebieżonym odstępom drogi (rys. 35), ma się możliwość wyznaczenia krzywej zasadniczej, dostosowując się przy pomocy giętkiej linijki do możliwie największej ilości znalezionych punktów tejże krzywej.

Mierząc styczne kątów, jakie tworzą styczne do krzywej zasadniczej z osią

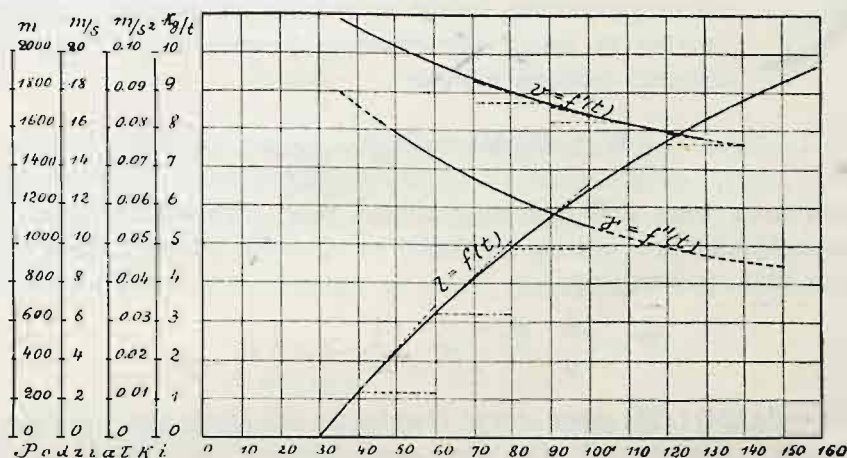
odciętych, otrzymuje się wielkości pierwszych pochodnych, według których wykreśla się krzywa $v = \frac{dl}{dt} = f'(t)$, wyrażająca zależność szybkości od czasu. Od krzywej szybkości można przejść za pomocą powtórnego różniczkowania, wykonanego tak samo jak pierwsze, do krzywej przyspieszeń (rys. 35):

$$\gamma = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2l}{dt^2} = f''(t)$$

Siła T , nadająca pociągowi ruch o przyspieszeniu γ , otrzymuje się z równania:

$$T = \alpha P \cdot \frac{\gamma}{g} \quad (22)$$

Rys. 35.



W tem równaniu oznacza P ciężar pociągu, g przyspieszenie siły ciężkości, $\alpha = 1 + \frac{P_1}{P} \cdot \frac{\rho^2}{r^2}$ współczynnik, wyrażający zwiększenie bezwładności pociągu wskutek ruchu obrotowego kół i równający się w przybliżeniu od 1,06 do 1,10. Taż siła T wynosić będzie w kg na tonnę ciężaru pociągu.

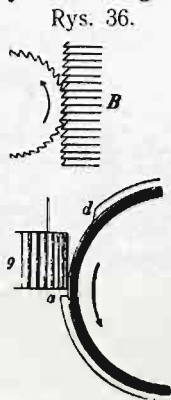
$$\tau = 1000 \frac{\alpha \gamma}{g} \quad (23)$$

Do określenia oporu pociągu niezbędnem jest wyznaczenie siły pociągowej ξ w kg/t , co może być osiągnięte zamykając przepustnicę, gdy pociąg przebiega po poziomej, przyczem $\xi = 0$, albo gdy przebiega po pochyłości, przyczem $\xi = \pm s$, jeżeli s oznacza wielkość pochylenia toru w tysięcznych. Część siły popędowej, którą pochłania opór i która jest mu równa i wprost przeciwna, otrzymuje się w postaci różnicy $\xi - \tau$.

Określenie przyspieszeń za pomocą bezpośredniego mierzenia szybkości wymaga zastosowania wskaźników szybkości. Przyrządy te opierają się zwykle na

działaniu siły odśrodkowej¹⁾, wskutek czego w ich wskazaniach bardzo trudno uniknąć błędów, pochodzących z bezwładności poszczególnych części mechanizmu.

We wskaźniku szybkości według syst. Haushalter'a, obecnie często stosowanym na drogach żelaznych, szybkość wskazuje podnoszenie się ciężarka B , posiadającego jednostajny ruch obrotowy około osi pionowej (rys. 36). Ciężarek ten podnoszony jest przez koło zębate g , połączone z osią pojazdu. Podczas jednego obrotu ciężarek wznosi się na wysokość, będącą w stosunku prostym do średniej szybkości ruchu w czasie tegoż obrotu, poczem opada na dół. Jakkolwiek przy takim urządzeniu wyłączona jest niedokładność, pochodząca z bezwładności części mechanizmu, z drugiej strony jednak szybkie zmiany prędkości nie mogą być zaznaczone.



Mając wykres zmiany szybkości według czasu, można określić przyspieszenie sposobem wskazanym powyżej, albo też pracę oporów ze zmian siły żywej na pewnej długości Δl , naprz. na długości jednego pikietu:

$$(W \pm Ps) \Delta l = \alpha M \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \quad (24)$$

W tem równaniu oznacza W opór na poziomej przy szybkości średniej pomiędzy v_1 i v_2 , s pochylenie linii, v_1 i v_2 szybkości na początku i końcu odstępu drogi Δl . Z równania (24) otrzymujemy:

$$W = \left\{ \frac{\alpha}{g} \cdot \frac{v_1^2 - v_2^2}{2} \cdot \frac{1}{\Delta l} \mp s \right\} P \quad (25)$$

Równania (24) i (25) mogą służyć również do określenia oporu pociągu ze spostrzeżeń czasu i przebieżonych odległości, jeżeli szybkości v będą określone uprzednio rachunkiem lub graficznie sposobem wskazanym powyżej. Należy jednak zaznaczyć, że w równaniu (24) przypuszcza się, że praca oporu przy zmianie szybkości od v_1 do v_2 równa się pracy oporu przy średniej szybkości $\frac{v_1 + v_2}{2}$, co w przybliżeniu tylko jest słusznem i może być dopuszczone tylko dla małych zmian szybkości, t. j. na niewielkich odstępach drogi Δl .

Niektórzy badacze określali opór, nadając pociągowi na poziomej lub na wzniesieniu pewną szybkość v lub spuszczać go z pochyłości, która je poprzedzała, i mierząc odległość, na jakiej się zatrzymywał, będąc pozostawiony sam sobie. Energia kinetyczna $\frac{Mv^2}{2}$, którą stracił pociąg, albo praca siły ciężkości Qh wykonana na wysokości h przez czas gdy pociąg był w ruchu, przyjmowane były jako równe pracy oporu pociągu przy średniej szybkości $\frac{v}{2} = \frac{l}{2t}$. Oczy-

¹⁾ Przyrządy Graftio, Payer-Favarger i inne.

wiecie, że ten sposób określenia oporu pociągu jest jeszcze mniej dokładny niż poprzedni.

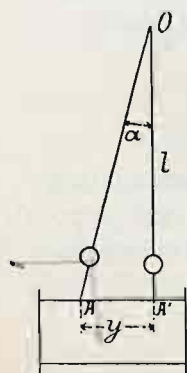
Bezpośrednie zmierzenie przyspieszenia γ pociągu będącego w ruchu, a więc i siły $\tau = \frac{\gamma}{g}$ na jednostkę jego ciężaru, która to przyspieszenie wywołuje, może być dokonane za pomocą wahadła dynamometrycznego.

Wyobraźmy sobie wahadło proste l (rys. 37a), umieszczone w pociągu w ten sposób, że pionowa płaszczyzna ruchu tegoż wahadła jest równoległa do kierunku ruchu pociągu. Jeżeli pod wahadłem umieścimy walec jednostajnie obracający się około osi poziomej, położonej w płaszczyźnie ruchu wahadła, a do spodu wahadła przymocujemy ołówek przyciskając go do walca, to podczas ruchu pociągu ołówek ten będzie kreślił na walcu krzywą, której rzędne y , podzielone przez długość wahadła l , będą wyrażać siłę, poruszającą pociąg, na jednostkę jego ciężaru:

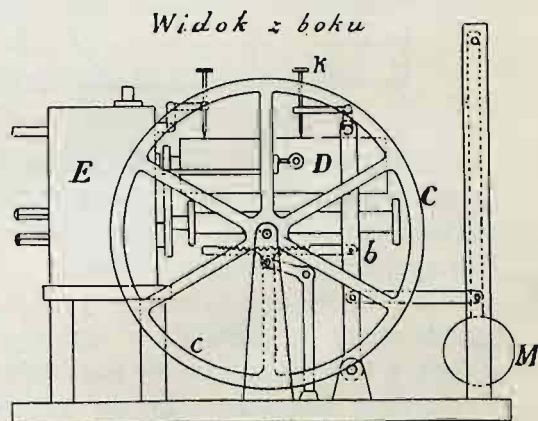
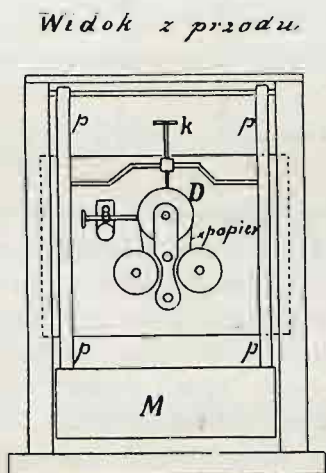
$$\frac{y}{l} = \frac{AA'}{OA'} = \operatorname{tg} \alpha = \frac{\gamma}{g}.$$

Ponieważ siły poruszające pociąg są bardzo nieznaczne w porównaniu z siłą ciężkości, wskutek czego rzędne y otrzymywałyby się bardzo małe, przeto w wahadlc Dedouits'a (rys. 37b) osiąga się zwiększenie tych rzędnych przy pomocy drążka b wahającego się w tejże płaszczyźnie, co wahadło główne. To ostatnie składa się z ciężkiego cylindra M , zawieszonego na dwóch prętach pp . Dla zwiększenia bez-

Rys. 37a.



Rys. 37b.



władności wahadła w wymaganym stopniu, w celu uniknięcia zbyt czułości na drobne wstrząśnienia, i otrzymania wyraźnego wykresu sił, działających przez pewien czas, nie zaś momentalnie, wahadło może być połączone za pomocą linijek zębatych z jednym lub dwoma kołami rozpędowymi CC' . Wykres sił otrzymuje się na walcu D , który wprowadza się w ruch jednostajny za pomocą mechanizmu zegarowego E .

Wykres przyśpieszenia pociągu według czasu (rys. 38), rysowany na walcu D ołówkiem k , daje możliwość określenia szybkości i przebytej drogi całkując najprzód:

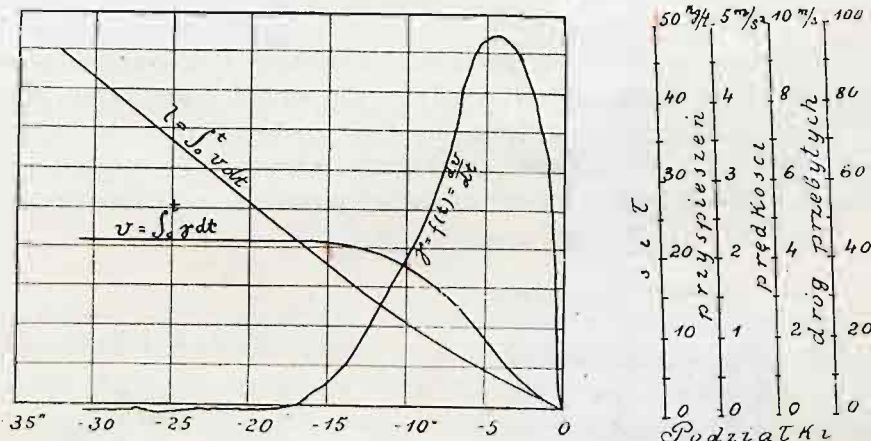
$$\int_0^t \frac{dv}{dt} dt = \int_0^t dv = v$$

W tym celu należy zmierzyć płaszczyznę, którą ogranicza krzywa przyśpieszeń i oś odciętych do rzędnej, odpowiadającej momentowi czasu t , dla którego ma być określona szybkość. Określiwszy szybkości $v_1, v_2, v_3 \dots$ dla czasów $t_1, t_2, t_3 \dots$, rysuje się krzywą $v = f(t)$ i według niej określa się przebyte drogi $l_1, l_2, l_3 \dots$ za pomocą całkowania, wykonywanego w tenże sam sposób, jak poprzednie:

$$\int_0^l \frac{dl}{dt} dt = \int_0^l dl = l.$$

Rys. 38.

Wykres hamowania pociągu.



Wszystkim sposobom określenia oporu pociągu przy zamkniętej przepustnicy można zrobić zarzut, że przy ich stosowaniu nie zostaje zmierzona część oporu mechanizmu parowozu, pochodząca od ciśnienia pary na tłoki i od tarcia suwaków. Z drugiej strony, skutek wciągania i ściskania powietrza w próżnych cylindrach, powstają opory nie istniejące przy ruchu parowozu pod działaniem pary. Co prawda opory te powstają w niektórych tylko typach parowozów, a mianowicie w tych, w których suwaki nie posiadają wolnej gry w kierunku prostym do płaszczyzny ślizgania. Co się zaś tyczy dodatkowego oporu, pochodzącego z ciśnienia pary na tłoki i z tarcia suwaków, to praca tego oporu według obliczeń Frank'a, sprawdzonych przez prof. Petrova, nie może wynosić więcej nad 5% do 6% od wskazanej pracy pary w cylindrach. Tak więc określenie oporu pociągu na podstawie przyśpieszenia, obserwowanego podczas ruchu pociągu pod wyłącznym działaniem sił bezwładności i ciężkości, jest dość dokładnem, co wszakże nie zmniejsza bynajmniej znaczenia indyktorowych wykresów pracy pary w cylindrach, za pomocą których opory określone w inny sposób winny być sprawdzane.

3. Wyniki doświadczalnego określania oporu pociągów.

a) Wzory Pambour'a, Harding'a, Clark'a, Vuillemin'a, Guebhard'a i Dieudonné'go.

Badania oporu pociągów zapoczątkował jeszcze Stephenson w r. 1818.

Około r. 1835 robione były na kolejach francuskich spostrzeżenia nad oporem pociągów bez parowozu. Wyniki tych spostrzeżeń podał Pambour w postaci wzoru:

$$W_{kg} = 2,68 Q_t + 0,005064 \Omega V^2 \quad (26)$$

w którym W_{kg} oznacza opór pociągu na prostej poziomej w kg , Q_t ciężar pociągu w tonnach, Ω płaszczyznę przedniej części pociągu w m^2 , V szybkość w $km/godz.$

Nieco później, na zasadzie spostrzeżeń dokonanych na kolejach angielskich, wyraził Harding opór pociągu (bez parowozu) w postaci wzoru:

$$W_{kg} = 2,72 Q_t + 0,094 Q_t V + 0,00484 \Omega V^2 \quad (27)$$

We wzorach oporu pociągu, wyprowadzonych na zasadzie następnych spostrzeżeń, zachowana jest przeważnie postać wzorów Pambour'a i Harding'a pod tym względem, że szybkość wchodzi do tych wzorów albo tylko w drugiej, albo też w pierwszej i drugiej potęgę. Kształt wzoru oporu wybierany był przeważnie na zasadzie teoretycznych rozważań, dane zaś doświadczalne służyły do określenia w nim niewiadomych współczynników. Tak naprz. Clark, opierając się na badaniach Gooch'a na kolejach angielskich, podaje dla oporu pociągu wzór

$$W_{kg} = (3,02 + 0,000695 V^2) Q_t \quad (28)$$

Vuillemin, Guebhard i Dieudonné, którzy wykonali w r. 1868 bardzo szczegółowe spostrzeżenia na francuskiej dr. żel. Wschodniej, nadali swym wzorom kształt wzoru dla oporu pociągu, przyjęty przez Harding'a. Proponują oni następujące wzory:

α) dla pociągów osobowych:

$$\left. \begin{array}{l} \text{przy } V = 32-50 \text{ km/godz.} \quad W_{kg} = (1,80 + 0,08 V) Q_t + 0,009 \Omega V^2 \\ \text{" " } = 50-65 \text{ " " " } \quad W_{kg} = (1,80 + 0,08 V) Q_t + 0,006 \Omega V^2 \\ \text{" " } > 65 \text{ " " " } \quad W_{kg} = (1,80 + 0,14 V) Q_t + 0,004 \Omega V^2 \end{array} \right\} \quad . (29)$$

β) dla pociągów towarowych, odrzucając wobec małej ich szybkości wyraz, zawierający V^2 :

1) panwie smarowane olejem:

$$W_{kg} = (1,65 + 0,05 V) Q_t \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\}$$

2) panwie smarowane łojem:

$$W_{kg} = (2,30 + 0,05 V) Q_t \quad \left. \begin{array}{l} \\ \\ \end{array} \right\} \quad (30)$$

Otrzymany opór parowozów wynosił od 8 do 20 kg/t w zależności od ich ciężaru i ilości osi sprzężonych.

Wzory (29) i (30), wobec dokładności spostrzeżeń na zasadzie których zostały ułożone, przez długi czas uważane były za najlepsze. Należy jednak zaznaczyć, że przy tych spostrzeżeniach stosowane były do obliczenia oporu pociągów niezupełnie pewne przyrządy i prawidłowe sposoby, a mianowicie siłomierze sprę-

zynowe albo obserwacje średniej szybkości pociągów i przebytej przez nie drogi aż do zupełnego zatrzymania. Przytem typy taboru ruchomego i ustrój jego środków podległy od tego czasu dość znacznym zmianom. Do nowszych badań nad oporem pociągów należą badania Dedouits'a na rządowych dr. żel. francuskich i Frank'a na dr. żel. alzacko-lotaryńskich.

b) Badania Dedouits'a.

Dedouits określał opór pociągów, będących w ruchu pod wpływem bezwładności, przy zamkniętej przepustnicy, obserwując ich przyspieszenia. Te ostatnie otrzymywane były bezpośrednio, przy pomocy wynalezionej przez niego przyrządu, nazwanego wahadłem dynamometrycznym (pendule dynamométrique v. dynamomètre d'inertie syst. Dedouits), albo określano je, obserwując przebyte drogi i odpowiadający im czas biegu pociągu przy pomocy chronografu. Wyniki tych spostrzeżeń sprawdzone były przez Nadal'a za pomocą indykatora.

Opór pociągów według spostrzeżeń Dedouits'a może być wyrażony w następujących wzorach:

1) Opór parowozów z tendrami, włącznie z oporem powietrza i wewnętrznym oporem mechanizmu, w kg na tonnę:

$$w_{kg/t} = 4 + 0,9 V \cdot \frac{V + 40}{1000} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (31)$$

2) Opór zwykłych wagonów dwuosiowych:

$$w_{kg/t} = 1,6 + 0,3 V \cdot \frac{V + 90}{1000} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (32)$$

3) Opór wagonów na wózkach:

$$w_{kg/t} = 1,4 + 0,2 V \cdot \frac{V + 90}{1000} \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot \cdot (33)$$

Opór parowozów rozmaitych typów po odjęciu trzonów korbowych i wiązarów wynosił według spostrzeżeń Dedouits'a przy bardzo małych szybkościach od 2,25 do 3,1 kg na t ciężaru parowozu z tendrem. Większe opory otrzymano dla parowozów cięższych typów.

c) Badania Frank'a.

Frank obserwował pociągi biegnące po spadkach i oznaczał szybkości, przy których one, nie zwalniając biegu, mogły być pozostawione pod wyłącznem działaniem siły ciężkości przy zamkniętej przepustnicy. Jeżeli ruch był zupełnie jednostajny, obserwowano czas przebiegania pikietów i oznaczano pracę oporów z energii kinetycznej (p. wzór 24).

Otrzymane wyniki wyraża Frank w następującym wzorze oporu pociągu razem z parowozem:

$$W_{kg} = p \cdot L_{kg} + 0,0025 Q_{kg} + 0,1225 (\Omega + \omega n) v^2 \cdot \cdot \cdot \cdot (34)$$

w którym oznaczają L i Q ciężar parowozu z tendrem i wagonów, Ω i ω płaszczyzny stanowiące opór dla powietrza, z których pierwsza odnosi się do parowozu i którą Frank przyjmuje dla pociągu osobowego $\Omega = 7 m^2$, a dla towarowego $\Omega = 8 m^2$, druga zaś do jednego wagonu i wynosi:

dla wagonu bagażowego (brankardu)	$\omega = 1,7 m^2$
„ „ towarowego krytego lub osobowego	$\omega = 0,5 m^2$
„ „ niekrytego ładownego	$\omega = 0,4 m^2$
„ „ „ próżnego	$\omega = 1 m^2$
„ „ krytego, następującego za niekry- tym, dodatkowo	$\omega = 1 m^2$

n ilość wagonów, v szybkość w m/sek , μ współczynnik, który wynosi dla parowozów osobowych 0,0032, a dla towarowych 0,0038.

Dla pociągów ściśle oznaczonego składu wzór Frank'a może być przedstawiony w takim samym kształcie, jak stary wzór (28) Clark'a. Wobec tego, uczyniwszy pewne przypuszczenia co do składu pociągu, można z wzoru Frank'a otrzymać następujące wzory uproszczone, które ostatniemi czasy często są stosowane w Niemczech:

$$w_{kg/t} = 2,4 + \frac{V^2}{1000} \quad (35)$$

albo

$$w_{kg/t} = 2,4 + \frac{V^2}{1300} \quad (36)$$

Wzory te nazywane są przez podobieństwo wzorami Clark'a.

Jednocześnie skład pociągu ma niewątpliwie wpływ na opór jednostki jego ciężaru. Wobec tego powyższe wzory uproszczone, wyprowadzone z wzoru Frank'a, należałoby stosować tylko w wypadkach, gdy skład pociągu nie jest wiadomy i gdy wymagane jest oznaczenie przybliżonego tylko oporu pociągu.

W r. 1901 przeprowadził Frank nową seryę spostrzeżeń przy szybkościach, dochodzących do 100 $km/godz.$, stosując wogóle ten sam sposób postępowania co i przedtem w r. 1883. Z tych spostrzeżeń otrzymano:

- 1) Opór parowozu z tendrem przy zamkniętej przepustnicy:

$$w_{kg/t} = 4 + (0,00592 \frac{\Omega_1}{L} + 0,000322) V^2 \quad (37)$$

We wzorze tym oznacza Ω_1 płaszczyznę rzutu pionowego parowozu prostopadłe do jego osi podłużnej w m^2 , L ciężar parowozu z tendrem w t .

- 2) Dla takiegoż parowozu, lecz z odjętymi suwakami:

$$w_{kg/t} = 2,5 + \left(0,00592 \frac{\Omega_1}{L} + 0,000142 \right) V^2 \quad (38)$$

- 3) Opór wagonów osobowych:

$$w_{kg/t} = 2,5 + \left\{ \frac{1,2 + 0,32 n}{106 Q} + 0,000142 \right\} V^2 \quad (39)$$

W tym wzorze oznaczają n i Q ilość i ciężar wszystkich wagonów w t .

4) Opór wagonów niekrytych:

a) ładownych:

$$w_{kg/t} = 2,5 + \left\{ \frac{1,2 + 0,18 n}{106 Q} + 0,000142 \right\} V^2 (40)$$

b) próżnych:

$$w_{kg/t} = 2,5 + \left\{ \frac{1,2 + 0,925 n}{106 Q} + 0,000142 \right\} V^2 (41)$$

We wzorach (37) i (41) z dwóch wyrazów w nawiasie, zależnych od V^2 , pierwszy odnosi się według Frank'a do oporu powietrza, drugi zaś do oporu wskutek uderzeń.

d) Badania Goss'a.

Wewnętrzne opory mechanizmu parowozu pod działaniem pary mogą być określone tylko przy pomocy wykresów indykatora. Ciekawe są w tym względzie wyniki spostrzeżeń, wykonanych w ostatnich czasach przez Goss'a na stacyi doświadczalnej uniwersytetu w Purdue.

Według tych spostrzeżeń opór mechanizmu parowozu wraz z oporem toczenia się kół napędnych, dał się przewyżczać ciśnieniem na tłoki równem 0,27 atm., przytem wielkość jego prawie się nie zmieniała ze zmianą szybkości i napętnienia cylindrów. Opór toczeniu się po szynach dwóch kół napędnych, obciążonych 25,4 t, powinien być przyjęty conajmniej 2,5 kg/t, a więc przy średnicy kół napędnych równej 160 cm, średnicy cylindrów równej 43,2 cm, i skoku tłoków równym 61 cm w parowozie Schenectady, nad którym były wykonywane spostrzeżenia, na opór ten zużywało się conajmniej:

$$25,4 \times 2,5 \times \frac{D}{l d^2} = \frac{63,5 \times 160}{61 \times 43,2^2} = 0,09 \text{ kg/cm}^2$$

pożytecznego ciśnienia na tłoki. Wynika ztąd, że ciśnienie na tłoki potrzebne do przewyżczenia samego tylko oporu mechanizmu parowozu wynosiło nie więcej jak

$$0,27 - 0,09 = 0,18 \text{ kg/cm}^2$$

co odpowiada sile na obwodzie koła napędnego:

$$0,18 \times \frac{61 \times 43,2^2}{160} = 128 \text{ kg}$$

czyli na t ciężaru parowozu z tendrem

$$\frac{128}{65} \approx 2 \text{ kg}$$

lub nieco mniej. Jeżeli do tego oporu dodać opór parowozu i tendra, jako pojazdów, który można przyjąć około 2,5 kg/t, to całkowity opór tychże otrzymuje się około 4,5 kg/t, co jest zgodne z wzorami (31) Dedouits'a i (37) Frank'a.

e) Badania oporu na łukach.

Opór pociągu biegnącego po łuku połączony jest ze zjawiskami jeszcze bardziej złożonymi niż opór na torze prostym, jak to zaznaczono powyżej na str. 14. Wobec tego oraz ze względu na różnorodność ustroju spodów taboru ruchomego pod względem przesuwności osi i t. p., dane doświadczalne dotyczące tego oporu, które posiadamy, wyrażają go zaledwie w przybliżeniu.

Na zasadzie badań, dokonanych na drogach żelaznych saskich, Hoffmann wyprowadza następujący wzór dodatkowego oporu na łukach, wyrażonego w kilogramach na tonnę ciężaru pociągu:

$$c_{kg/t} = 21 \cdot \frac{4b + b^2}{R - 45} \quad (42)$$

W tym wzorze oznacza R promień łuku w m , b długość sztywnej podstawy wagonu w m . Gdy $b = 3,8 m$, wzór (42) daje wyniki prawie równoznaczne z wynikami otrzymywanymi z wzoru, wyprowadzonego przez Röckl'a na zasadzie badań dokonanych na drogach żelaznych bawarskich. Wzór Röckl'a jest następujący:

$$c_{kg/t} = \frac{650}{R - 55} \quad (43)$$

Otrzymane według niego wielkości oporu w łukach zgadzają się dość dobrze ze spostrzeżeniami innych dróg żelaznych.

f) Wzór prof. Petrowa.

W Rosyi nie robiono spostrzeżeń w celu oznaczenia oporu pociągów i opór ten przyjmuje się tam na zasadzie danych dróg żelaznych zagranicznych. Przedmiot ten szczegółowo opracował pod względem teoretycznym i krytycznie rozpatrzył wyniki spostrzeżeń do r. 1886 prof. Petrow.

Ustaliwszy na zasadzie rozważań teoretycznych postać, jaką powinien mieć wzór, wyrażający całkowity opór pociągu, prof. Petrow oznaczył najbardziej prawdopodobne wielkości współczynników liczbowych tegoż wzoru, starając się zbliżyć możliwie do wyników, otrzymanych przez różnych badaczy, szczególnie zaś korzystając ze spostrzeżeń Vuillemin'a, Guebhard'a i Dieudonné'go. Na zasadzie tych badań prof. Petrow wyprowadził dla całkowitego oporu pociągu na torze prostym i poziomym wzór następujący:

$$W_{kg} = \left\{ \begin{matrix} 2,3 \\ 4,3 \end{matrix} + 0,15 V + 0,001 V^2 \right\} L + 1,2 Q + \frac{0,6}{0,9} n V + 0,03 (1 + 0,04 n) V^2 + (0,2 - 0,015 \tau) (L + Q) \quad (44)$$

w którym oznacza:

L ciężar parowozu z tendrem w t , Q ciężar pociągu w t , n ilość wagonów, V szybkość w $km/godz$, τ temperaturę w stopniach Celsjusza. Współczynniki górne 2,3 i 0,6 odnoszą się do pociągów osobowych, dolne zaś 4,3 i 0,9 do towarowych. Wzór ten powinien dawać wyniki zbliżone do przeciętnych, otrzymanych z wyżej wspomnianych spostrzeżeń.

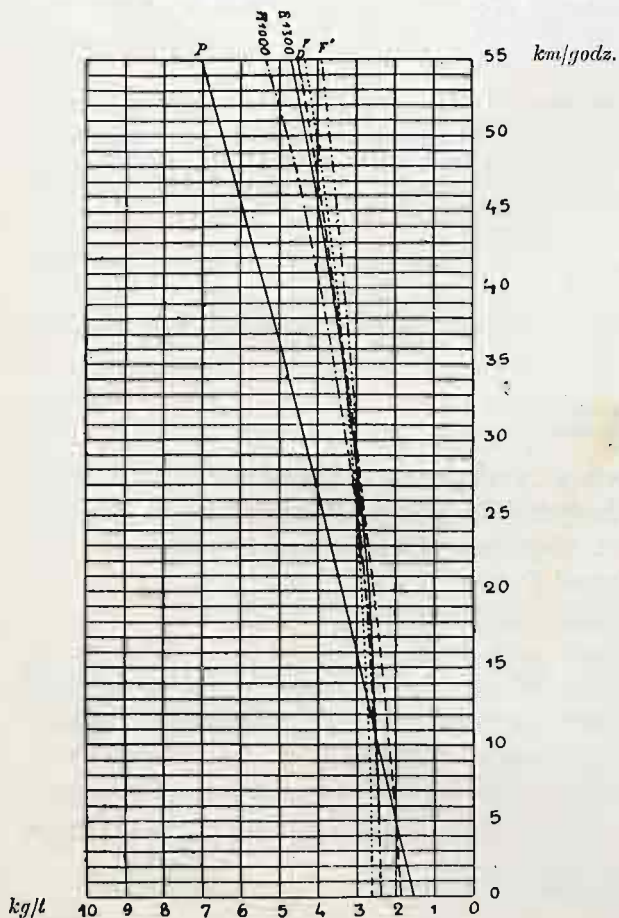
Dla oznaczania oporu na łukach prof. Petrow uważa za najwłaściwsze posilkować się wzorem (42).

Wykresy oporu w kg na t ciężaru pociągu.

a) Towarowego

składającego się z parowozu towarowego $\frac{1}{4}$ jednoprężnego, z tendrem, o ciężarze ogólnym $48 + 27 = 75 t$ i z 50 wagonów o ciężarze brutto $11,5 \times 50 = 575 t$.

Rys. 39.



P —————
 R —————
 D - - - - -
 P' - - - - -
 F'

opory

według wzoru (44) prof. Petrowa.

" " (36) erfurckiego albo Rüppel'a.

" " (31) i (32) Dedouits'a.

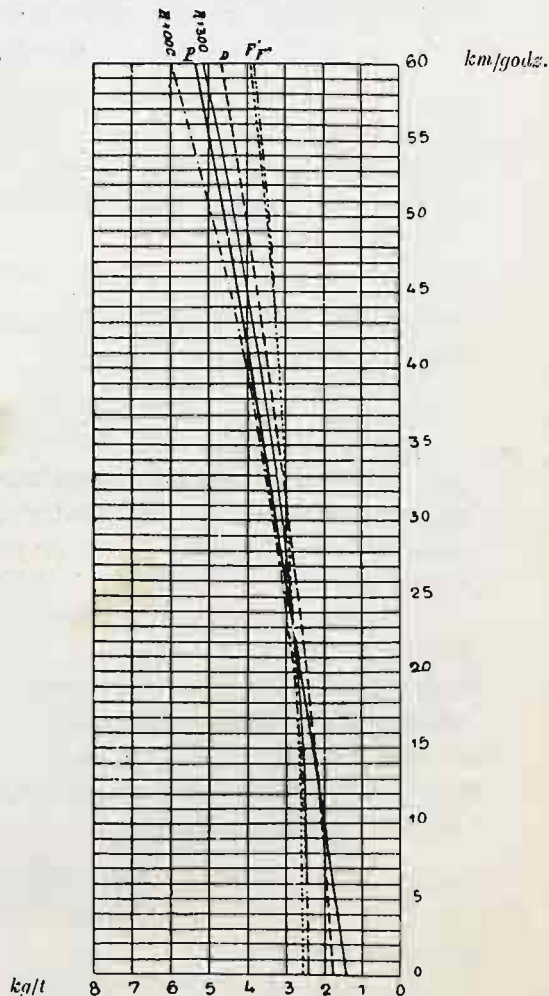
" " Frank'a, ze spostrzeżeń 1883 r.

" " " " " 1901 r.

b) Towarowego

składającego się z parowozu towarowego $\frac{1}{4}$ dwuprężnego, z dwoma cylindrami, typu normalnego rosyjskiego, z tendrem, o ciężarze ogólnym $51\frac{1}{2} + 27 = 78\frac{1}{2} t$ i z 50 wagonów o ciężarze brutto $19 \times 50 = 950 t$.

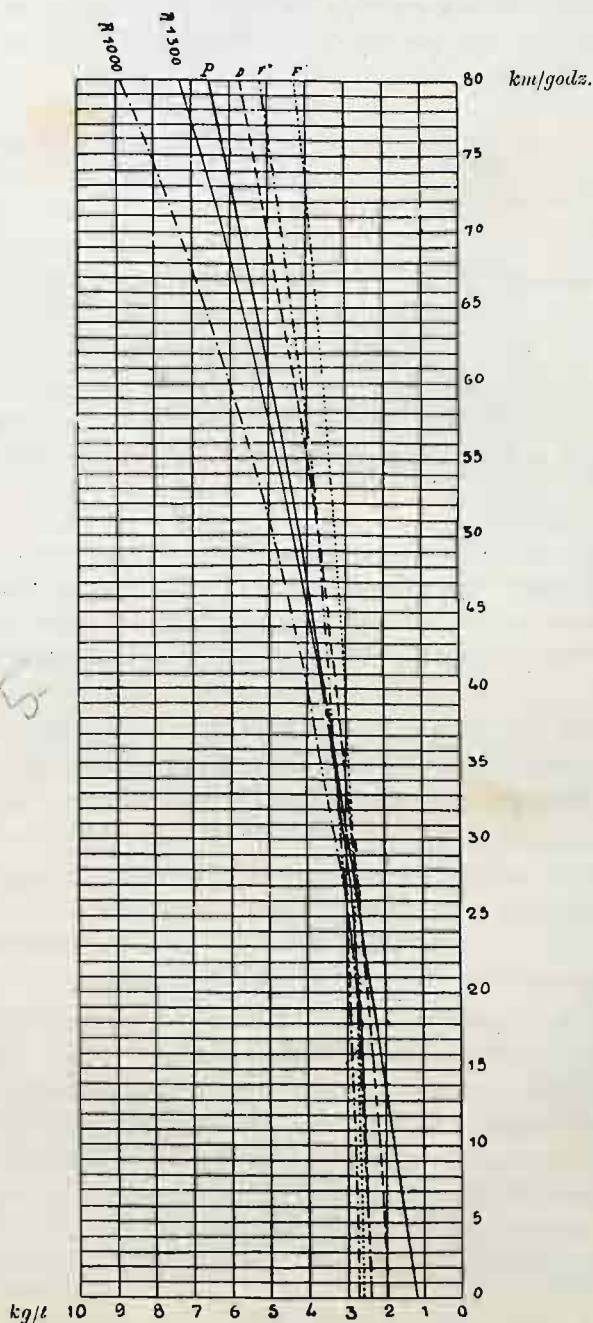
Rys. 40.



c) Osobowego

składającego się z parowozu osobowego $\frac{2}{4}$, dwuprzężnego, z 4-ina cylindrami (tandem compound), z tendrem, o ciężarze ogólnym $53 + 36\frac{1}{2} = 89\frac{1}{2} t$, oraz z wagonów: pakunkowego 3-osowego i z 8-iu osobowych 4-osowych, o ciężarze ogólnym $364\frac{1}{2} t$.

Rys. 41.



Na załączonych wykresach (rys. 39, 40 i 41) uwidocznione są krzywe oporu dla pociągów rozmaitego składu na prostej poziomej, nakreślone według wzorów prof. Petrowa, Dedouits'a, Frank'a i dr. żel. pruskich.

ROZDZIAŁ V.

Hamulce.

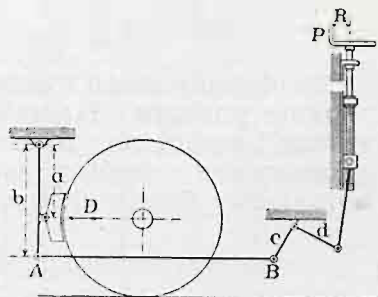
1. Zwolnienie biegu i zatrzymanie pociągu. Hamulce ręczne i zespolone. Hamulce samoczynne. Ogólny ustrój hamulców Westinghouse'a.

Stopniowe zwolnienie biegu i zatrzymanie pociągu na linii poziomej lub na nieznacznej pochyłości mogą być osiągnięte przez zatamowanie dopływu pary do cylindrów, t. j. przez zamknięcie przepustnicy. Jednakże w takich warunkach zatrzymanie się pociągu może nastąpić tylko bardzo powoli, t. j. na znacznej długości. Na takich zaś pochyłościach, na których działanie samej tylko siły ciężkości przewyższa normalny opór ruchowi, do zatrzymania pociągu potrzebne są wogóle inne środki.

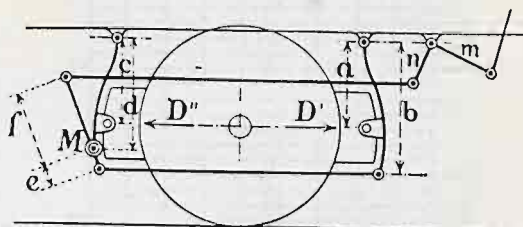
Parowóz może otrzymać ruch postępowy naprzód lub wstecz w zależności od tego, z której strony tłoka zostanie wpuszczona para. Zdawałoby się więc, że najprostszym środkiem do zatrzymania pociągu powinno być zmiana kierunku pary wpuszczanej do cylindra, t. j. wpuszczenie tak zwanej pary wstecznej. Ten sposób

zatrzymania pociągu stosowany bywa tylko w razach wyjątkowych, ponieważ jest szkodliwy dla mechanizmu parowozu i wywołuje silne wstrząśnienia pociągu. Najbardziej celowym środkiem do zwolnienia biegu i zatrzymania pociągu jest zwiększenie oporu ruchowi przez wywołanie tarcia za pomocą *hamulców*. Zasadniczą część hamulców stanowią *klocki hamulcowe* w kształcie odcinków wklęsłych z drzewa lub żelaza lanego, przyciskanych do toczonej powierzchni obręczy z jednej lub z obu stron koła (rys. 42a i 42b). Hamowanie za pomocą klina podprowadzanego pod koło, na którym ślizga się ono po szynie, stosowane jest tylko dla pojedynczych wagonów podczas manewrów.

Rys. 42a.



Rys. 42b.



Klocki hamulcowe przyciskane są do obręczy przy pomocy prętów ręcznie, przeciwwagami, sprężynami, działaniem zgęszczonego lub rozrzedzonego powietrza i t. p. W *hamulcach ręcznych* nacisk na klocki hamulcowe wywiera się przeważnie za pomocą śruby pionowej, obracanej korba z ganku hamulcowego (rys. 42a).

Zagranicą do przyciskania klocków hamulcowych stosowane są niekiedy przeciwwagi, umieszczane z boku ganków hamulcowych i spuszczone ręcznie. Ten sposób hamowania, szybki w działaniu, dogodnym jest zwłaszcza przy manewrach.

Hamulce ręczne działają na osie pojedynczych wagonów i obsługa ich pozostaje w zależności od uwagi hamulcowych. Na podanie przez maszynistę odpowiedniego sygnału służbie pociągowej, na przystąpienie tejże do hamowania oraz na należyte dociśnięcie klocków traci się przy ręcznych hamulcach dużo czasu.

Możność zatrzymania pociągu w krótkim czasie, a więc na niewielkiej długości, ma ważne znaczenie nie tylko ze względu na bezpieczeństwo ruchu, ale również i z tego powodu, że tym sposobem skraca się czas biegu pociągu i prędzej się uwalnia droga dla pociągu następnego. Wobec tego zrozumiałem jest dążenie do ześrodkowania władania hamulcami w rękach maszynisty, prowadzącego pociąg. W Rosji obowiązkowo jest stosowanie *hamulców zespolonych* w pociągach, których największa szybkość przewyższa 55 wiorst na godzinę, a w najbliższej przyszłości zamierzonym jest wprowadzenie hamulców zespolonych we wszystkich pociągach towarowych.

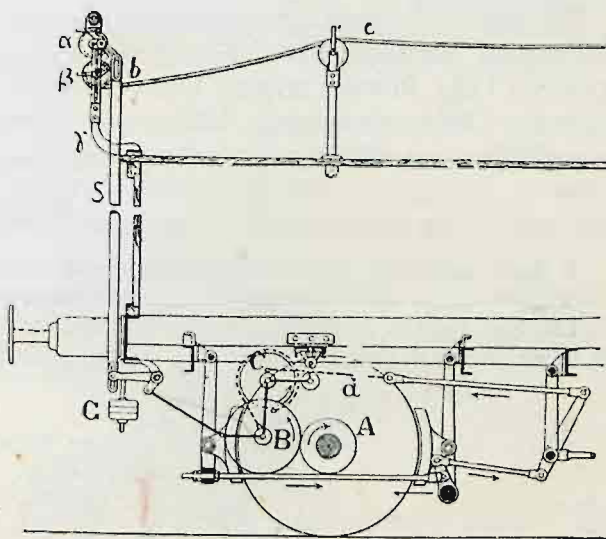
Z pośród rozmaitych systemów hamulców zespolonych, stosowanych pierwotnie, wyróżniają się swym oryginalnym pomysłem *hamulce z kołem trącem* Heberlein'a (rys. 43 a, b). W położeniu, w którym klocki hamulcowe odstawione są od koła, przeciwwaga G podciągnięta jest ku górze za pomocą linki bc , idącej wzdłuż całego pociągu. Jeżeli linkę zwolnić, to przeciwwaga G przyciska do krążka A , nasadzonego na oś wagonu, krążek B , który zaczyna się obracać i naciąga łańcuch, działający na hamulce.

Hamulec elektryczny Achar'd'a posiada również krążek trący, którego opuszczanie dokonywa się nie za pomocą linki, lecz za pomocą prądu elektrycznego. Jednakże w razie przerywania przewodnika elektrycznego, traci się możliwość zatrzymania pociągu, gdy tymczasem przerwanie się linki, przeciwnie, wywołuje działanie hamulców.

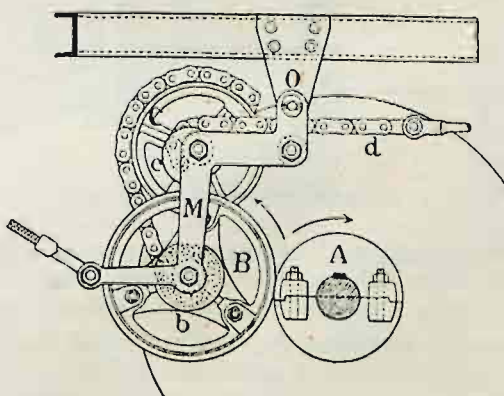
Hamulce parowe i wodne nie znalazły szerszego zastosowania.

Ze wszystkich systemów hamulców zespolonych największem rozpowszechnieniem cieszą się *hamulce powietrzne*, działające powietrzem zgęszczonem lub rozrzedzonem. Hamowanie może być osiągnięte przez zgęszczanie lub rozrzedzanie powietrza bezpośrednio w przewodzie, idącym od parowozu wzdłuż całego pociągu, lub też za pośrednictwem zbiorników i rozdzielaczy, umieszczonych pod każdym wagonem hamulcowym. Przy tym ostatnim urządzeniu w razie rozerwania się pociągu hamowanie następuje samoczynnie. Wobec tej wyższości, tak ważnej ze względu na bezpieczeństwo, do zespolonego hamowania używane są obecnie prawie wyłącznie *hamulce samoczynne (automatyczne)*.

Rys. 43a.



Rys. 43b.

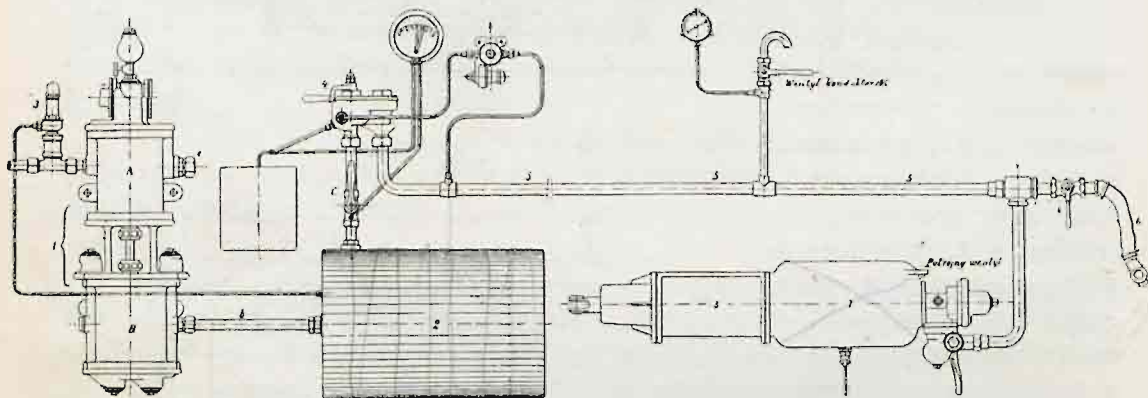


Główny zbiornik powietrza zgęszczonego lub rozrzedzonego umieszcza się na parowozie. Powietrze napompowuje się do zbiornika za pomocą pompy lub wypompowuje z niego za pomocą smoczka parowego. Za pośrednictwem kurka, obsługiwanego przez maszynistę, i rur, przeprowadzonych wzdłuż całego pociągu, zbiornik główny może być połączony ze zbiornikami pomocniczymi umieszczonymi pod wagonami hamulcowymi. Siłę, potrzebną do hamowania, wywierają na pręty hamulców tłoki cylindrów, umieszczonych obok zbiorników pomocniczych, z którymi cylindry te komunikują się samoczynnie za pośrednictwem rozdzielaczy, gdy tylko przewód zostanie złączony z atmosferą.

Do hamulców samoczynnych, działających *powietrzem zgęszczonym*, należą hamulce ustroju Westinghouse'a, New York, Wenger'a, Schleifer'a, Lipkowskiego, Carpenter'a i in. Różnica między tymi ustrojami polega głównie na urządzeniu rozdzielaczy i kurka maszynisty. Z ustrojów hamulców samoczynnych, działających *powietrzem rozrzedzonym*, najwięcej znane są hamulce Sanders'a, Hardy'ego, Clayton'a i in. Ustrój tych hamulców jest wogóle prostszy niż hamulców, działających powietrzem zgęszczonym. Natomiast działanie ich jest powolniejsze.

W Rosji najbardziej rozpowszechnione są *hamulce samoczynne Westinghouse'a*, działające powietrzem zgęszczonym. Ustrój tych hamulców uwidocznił schematycznie na rys. 44. Po lewej stronie tego rysunku pokazane są przyrządy, które umieszczają się na parowozie, po prawej zaś te, które umieszczają się na tendrze i na każdym wagonie hamulcowym.

Rys. 44.
Schemat hamulców systemu Westinghouse'a.



Pompa powietrzna (1) na parowozie posiada cylinder parowy A i powietrzny B. Pompa wprowadzana jest w ruch parą z kotła parowego; para zużyta odchodzi rurką e do komina. Dopływ pary do cylindra A reguluje się za pomocą *samoczynnego regulatora pompy* (3).

Powietrze napompowuje się przez rurę b do *zbiornika głównego* (2), umieszczanego zwykle pod pomostem parowozu lub pod kotłem parowym. Oddzielna rurka c łączy ten zbiornik z *kurkiem maszynisty* (4). Kurek ten połączony jest również z głównym *przewodem powietrznym* (5), przeprowadzonym wzdłuż całego pociągu i złączonym za pomocą odgałęzień z urządzeniami hamulcowymi, znajdującymi się pod parowozem, tendrem i wagonami hamulcowymi.

Połączenie giętkie głównego przewodu powietrznego pomiędzy parowozem i tendrem oraz pomiędzy oddzielnymi wagonami, osiąga się przez zastosowanie *węzów gumowych* (6), łączonych za

pomocą złączy metalowych. Przy każdym węźle na przewodzie powietrznym znajduje się *kurek rozłączający k*, który winien być zamknięty przed odczepieniem wagonu dla uniknięcia zahamowania wagonu z powodu zmniejszenia się ciśnienia w przewodzie powietrznym.

Przyrządy hamulcowe na parowozie, tendrze i przy wagonach hamulcowych składają się z cylindra hamulcowego, zbiornika pomocniczego i potrójnego wentyla.

Cylinder hamulcowy (8) posiada tłok z trzonem, który przyciska klocki hamulcowe do kół za pośrednictwem układu prętów, gdy na tłok ciśnie powietrze zgęszczone. Gdy ciśnienie powietrza ustaje, tłok powraca do normalnego położenia pod działaniem sprężyny spiralnej.

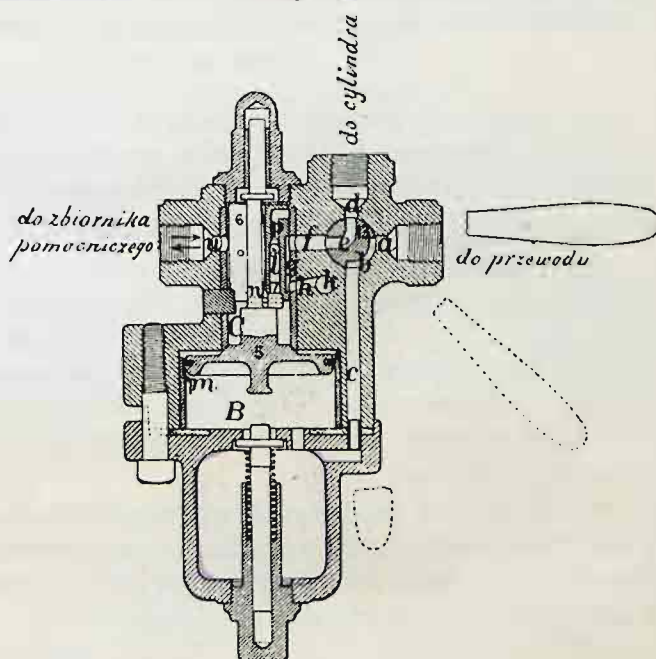
Zbiornik pomocniczy (7) zawiera zapas powietrza zgęszczonego, uzupełniany z głównego zbiornika.

Wentyl potrójny posiada urządzenie uwidocznione w przekroju na rys. 45. Powietrze zgęszczone z głównego przewodu powietrznego przechodzi kanałem *c* pod tłok 5, podtrzymuje go swym ciśnieniem w położeniu, wskazanem na rysunku, i przez wycięcia *m* oraz kanał *a* dostaje się do zbiornika pomocniczego. W tem położeniu suwak *p* łączy kanał *d*, prowadzący do cylindra hamulcowego, z kanałem *k*, t. j. z atmosferą, a więc wtedy hamulec nie działa. Gdy ciśnienie w głównym przewodzie powietrznym zmniejszy się umyślnie lub przypadkowo, wtedy tłok 5 opada ku dołowi, jednocześnie zaś przerywa się komunikacja przez wgłębienia *m* pomiędzy głównym przewodem powietrznym a zbiornikiem pomocniczym. Razem z tłokiem 5 opuszcza się również suwak *p*, przerywając połączenie cylindra hamulcowego z atmosferą, a natomiast łącząc go ze zbiornikiem pomocniczym, wskutek czego następuje hamowanie.

Zmniejszenie ciśnienia w głównym przewodzie powietrznym, a zatem hamowanie pociągu, może być osiągnięte, wypuszczając powietrze przez kurek maszynisty, lub przez jeden z kranów, umieszczonych na odgałęzieniach przewodu powietrznego wewnątrz wagonów, aby dać służbie pociągowej lub pasażerom możność zatrzymania pociągu w nagłych wypadkach niezależnie od maszynisty. Dla odhamowania pociągu należy zwiększyć ciśnienie w przewodzie powietrznym, łącząc go ze zbiornikiem głównym za pomocą kurka maszynisty.

Ciśnienie w głównym zbiorniku doprowadza się w przybliżeniu do 6 atmosfer. W przewodzie powietrznym ciśnienie to bywa o 1 do $1\frac{1}{2}$ atm. mniejsze. Wielkość ciśnienia wskazują manometry. Jeżeli długość pociągu jest znaczna, to zmniejszenie się ciśnienia w przewodzie powietrznym po otwarciu kurka nie następuje dość szybko, wskutek czego tylne wagony, nie będąc jeszcze zahamowane, wpadają na przednie. Dla uniknięcia tego zaopatruje się wentyl potrójny w tak zwany *przyspieszacz*, którego działanie polega na tem, że przy zupełnem otwarciu kurka maszynisty wentyl potrójny otwiera dostęp powietrza zgęszczonego do cylindra hamulcowego nie tylko ze zbiornika pomocniczego, lecz również i z głównego przewodu powietrznego, wskutek czego

Rys. 45.



go na to czasu w zależności od ilości osi hamownych, ciężaru pociągu, jego szybkości i profilu linii ma ważne znaczenie ze względu na bezpieczeństwo ruchu i skuteczność środków zarządzanych w celu, aby to bezpieczeństwo było zachowane. Oznaczmy przez v_0 i V_0 szybkość pociągu w początku hamowania w m/sec i w $km/godz$; g przyspieszenie siły ciężkości; w współczynnik oporu pociągu, t. j. opór na jednostkę ciężaru pociągu, w torze prostym i poziomym; c współczynnik dodatkowego oporu, pochodzącego z krzywizny toru; s pochylenie toru; φ współczynnik tarcia między klockiem i obręczą; α stosunek obciążenia osi hamownych do całkowitego ciężaru pociągu.

Jeżeli przyjmiemy, że ciśnienie na klocki hamulcowe będzie się równać obciążeniu osi hamowanych, to $\alpha\varphi$ będzie wyrażać siłę hamującą na jednostkę ciężaru pociągu.

Energia rozpędu jednostki ciężaru pociągu, zużyta na długości l , którą przebiegnie pociąg od początku zupełnego hamowania do zatrzymania się, będzie się równać pracy oporów na tejże długości:

$$1,06 \frac{v_0^2}{2g} = \int_0^l w dl + (c \pm s) l + \int_0^l \alpha \varphi dl \quad . \quad . \quad . \quad (45)$$

W równaniu tem energia rozpędu $\frac{v_0^2}{2g}$ ruchu postępowego zwiększona jest o 6% z uwagi na bezwładność kół podległych ruchowi obrotowemu (patrz str. 46).

Opór w w linii prostej i poziomej na jednostkę ciężaru pociągu pozostaje w zależności od szybkości ruchu, która zmienia się od v_0 do 0. Również współczynnik φ tarcia klocków hamulcowych zmniejsza się w miarę zwiększania się szybkości, jak to wykazały spostrzeżenia Galton'a i Wichert'a, i wynosi dla obręczy stalowych i klocków z żelaza łanego:

według spostrzeżeń Galton'a w przybliżeniu:

$$\varphi = \frac{10}{30 + V} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (46)$$

zaś według Wichert'a:

$$\varphi = \beta \frac{1 + 0,0112 V}{1 + 0,06 V} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (47)$$

W wyrazach tych oznacza V szybkość w $km/godz$. Współczynnik β równa się 0,45 lub 0,25 w zależności od tego, czy trące się powierzchnie są suche, czy też wilgotne.

W rozdziale VI będzie wskazany sposób graficzny oznaczenia długości l , przyjmując pod uwagę łączny wpływ wszystkich oporów na zmianę szybkości. Na tem zaś miejscu dla przybliżonego rozwiązania równania (45) zrobione będą pewne przypuszczenia co do zależności średnich oporów przez cały czas hamowania od największej szybkości w początku tegoż hamowania. Ponieważ parowóz i tender zaopatrzone są w hamulce, których siła na jednostkę ich ciężaru własnego jest wogóle większą, niż takąż siła hamulców wagonowych, zastosujemy więc równanie (45) tylko do wagonów.

Opór pociągu w linii prostej i poziomej jest znacznie mniejszy od siły hamującej. Wobec tego dla współczynnika w można przyjąć według przybliżonego wzoru (35)

$$w = 0,0024 + \frac{V^2}{10^6}$$

wprowadzając zamiast V średnią szybkość, która jest wogóle większa niż $0,5 V_0$. Jednakże według spostrzeżeń Wichert'a, siła żywa (a zatem i V^2) zmniejsza się w ciągu hamowania mniej więcej w stosunku prostym do przebytej drogi. Na tej zasadzie dla średniego oporu w_m można przyjąć:

$$w_m = 0,0024 + \frac{0,5 V_0^2}{10^6} \quad \dots \quad (48)$$

co odpowiada średniej szybkości $V_m = 0,707 V_0$. Przypuszczając dalej, że siłę żywą pociągu pochłania sam tylko opór, wywołany tarciami klocków hamulcowych, i przyjmując dla współczynnika φ tegoż tarcia wzór (47), otrzymamy średnią jego wielkość φ_m za cały czas hamowania:

$$\varphi_m = \frac{0,125 V_0^2}{2,6785 V_0^2 - 389 V_0 + 34735 \log \text{nat} (1 + 0,0112 V_0)} \quad \dots \quad (49)$$

Wzór ten daje dla φ_m następujące wartości:

przy $V_0 =$	10	20	30	40	50	60	70	80	90 km/godz.
$\varphi_m =$	0,201	0,164	0,142	0,128	0,117	0,109	0,103	0,098	0,093

W przybliżeniu te same wartości można otrzymać z wzoru doświadczalnego:

$$\varphi_m = \frac{13}{60 + V_0} \quad \dots \quad (50)$$

Posiłkując się wzorami dla średnich współczynników oporu w_m i φ_m i podstawiając $v_0 \text{ m/sek} = \frac{1}{3,6} V_0 \text{ km/godz.}$, można napisać zamiast równania (45)

$$\frac{1,06 V_0^2}{2 \times 9,81 \times 3,6^2} = (w_m + c \pm s + a\varphi_m) l$$

a więc

$$l = \frac{V_0^2}{240} \cdot \frac{1}{w_m + c \pm s + a\varphi_m} \text{ (w metrach)} \quad \dots \quad (51)$$

Dla bezpieczeństwa ruchu szczególnie ważnem jest określenie odległości l_1 , którą przebiegnie pociąg, licząc od chwili podania sygnału na zatrzymanie. Z tego powodu należy dodać do długości l hamowania, określonej z wzoru (51), długość $n \frac{V_0}{3,6}$, którą przebiegnie pociąg w czasie n sekund od chwili podania sygnału na zatrzymanie do chwili, kiedy hamulce zaczną całkowicie działać. Można przyjąć, że przy hamulcach zespolonych czas n wynosi 3 do 4 sekund, a przy ręcznych 5 do 8 sekund.

Procent osi hamownych w pociągu niezbędnych dla pewności zatrzymania go na odległości l_1 , licząc od chwili podania sygnału na zatrzymanie, może być określony z wzoru:

$$100 \alpha = \frac{100}{\varphi_m} \left\{ \frac{V_0^2}{240 \left(l_1 - n \frac{V_0}{3,6} \right)} - (w_m + c \pm s) \right\} \quad \dots \quad (52)$$

Na spadkach (w tysięcznych)	Przy największej szybkości pociągu na przebiegach międzystacyjnych									
	do 25	30	35	40	45	50	55	60	65	70
	w i o r s t n a g o d z i n ę									
	Ilość obciążonych osi wagonowych hamownych winna wynosić w procentach od ogólnej ilości obciążonych osi wagonowych całego pociągu									
do 2	6	6	8	10	12	16	19	24	29	34
" 5	6	8	11	13	17	20	24	29	34	40
" 6	7	9	12	14	18	22	26	31	36	42
" 8	9	12	14	17	21	25	29	34	39	46
" 10	11	14	16	20	24	28	32	37	43	50
" 12	13	16	19	23	27	31	36	41	47	—
" 15	16	19	22	26	30	35	41	47	52	—

Na drogach żelaznych rosyjskich długość l , przyjmuje się zwykle 250 saż. = 530 m. Przyjmując dla hamulców ręcznych $n = 8$, a dla zespolonych $n = 4$ sek i wyrażając w_m w kg/t, a c i s w tysięcznych, można obliczyć najmniejszy procent osi hamownych w pociągu z następujących wzorów:

1) dla hamulców ręcznych:

$$100 \alpha = \frac{V_0^2}{\varphi_m \left(1272 - \frac{16}{3} V_0 \right)} - 0,1 (w_m + c \pm s) \frac{1}{\varphi_m} \quad . \quad . \quad . \quad (53)$$

2) dla hamulców zespolonych:

$$100 \alpha = \frac{V_0^2}{\varphi_m \left(1272 - \frac{8}{3} V_0 \right)} - 0,1 (w_m + c \pm s) \frac{1}{\varphi_m} \quad . \quad . \quad . \quad (54)$$

W powyższej tablicy podano stosunek procentowy osi hamownych w pociągu, obowiązujący obecnie na drogach żelaznych rosyjskich. Dla dużych spadków po- mieniony stosunek jest nieco większy niż według wzorów (53) i (54).

ROZDZIAŁ VI.

Pociągi i ich ruch.

1. Klasyfikacja i skład pociągów. Szybkość pociągów.

Pociąg składa się z szeregu wagonów sprzężonych w pewnym określonym porządku oraz z prowadzącego je parowozu, zaopatrzonych w przyrządy sygnałowe i inne, niezbędne podczas ruchu.

Pociągi dzielą się na *osobowe i towarowe*, stosownie do tego czy służyć mają do przewozu podróżnych czy też ładunków.

Do przewozu podróżnych w komunikacji bezpośredniej na dalekie odległości służą przeważnie pociągi: *błyskawiczne (ekspresy), kuryerskie i pośpieszne*, które zatrzymują się tylko na główniejszych stacjach i posiadają znaczną szybkość biegu. Dla miejscowej komunikacji osobowej przeznaczone są pociągi: *pocztowe, zwykle osobowe, towarowo-osobowe i mieszane*. Oprócz tego istnieją pociągi mające przeznaczenie specjalne, jakoto: *wojskowe, przesiedleńcze, pątnicze* i inne.

Towary pośpieszne przewożone bywają w pociągach towarowo-osobowych i mieszanych oraz w *pociągach towarowych pośpiesznych*, inne zaś towary w zwykłych *pociągach towarowych*.

Do potrzeb gospodarczych przy eksploatacyi służą *pociągi materiałowe, robocze* i in.

Pociągi kursują zwykle peryodycznie, w oznaczonych godzinach i dniach tygodnia, wskazanych w rozkładzie ruchu pociągów. Pociągi nieprzewidziane w rozkładzie zowią się *nadzwyczajnymi* (ekstrapociągami).

Ilość wagonów, łączonych w jeden pociąg, zależy od mocy parowozu i szybkości jazdy oraz od wytrzymałości łączników. *Największy skład pociągów*, zgodnie z przepisami, obowiązującymi na drogach żelaznych rosyjskich, nie powinien przekraczać w pociągach osobowych i towarowo-osobowych 100 osi, w pociągach wojskowych i mieszanych 120 osi, wreszcie w pociągach towarowych 150 osi, nie licząc parowozów prowadzących pociąg i tendrów przy nich.

Skład pociągów, ustanowiony dla danych warunków, nie zawsze pozostaje bez zmiany. Szczególnie pociągi towarowe, wskutek odczepiania wagonów na stacjach pośrednich, często dążą w niepełnym składzie. *Średni skład pociągów towarowych* wynosi od 65% do 85% składu normalnego. Według statystyki dróg żelaznych rosyjskich za okres czasu od roku 1891 do 1905 średni skład pociągów osobowych zmniejszał się stopniowo z 36 do 33 osi, przeciwnie zaś towarowych, zwiększał się z 66 do 69 osi. Pierwsze należy przypisać stale zwiększającej się szybkości pociągów osobowych, drugie zaś zastosowaniu parowozów towarowych o dużej sile pociągowej w celu zwiększenia zdolności przewozowej dróg żelaznych.

Pod względem *porządku ustawiania taboru w pociągu* zachowują się następujące prawidła: a) parowóz winien stać na czele pociągu, mając tender z tyłu za sobą: pchanie pociągu parowozem, umieszczonym w tyle, dozwolone jest tylko dla pociągów służbowych, roboczych i w szczególnych wypadkach, przyczem szybkość takich pociągów nie może przekraczać 25 wiorst na godzinę; b) wszystkie wagony z podróżnymi winny być zestawione razem i oddzielone od parowozu i tendra przynajmniej jednym wagonem, nie zajęтым przez podróżnych, i c) wagony z hałmulcami w ilości nie mniejszej jak wskazana powyżej (patrz str. 67), winny być rozmieszczone w pociągu możliwie równomiernie i wagon ostatni winien mieć hałmulce.

Żadna część taboru ruchomego, ani też ładunek wagonów niekrytych, nie winny wystawać w płaszczyźnie, prostopadłej do podłużnej osi pociągu, poza

pewne obrysy zwane skrajniami. *Skrajnia taboru* ogranicza zwykle również naładowanie wagonów. Skrajnie taboru dróg żelaznych rosyjskich i zagranicznych podane są niżej przy omawianiu warunków technicznych projektowania dróg żelaznych.

Szybkość pociągów zależy w znacznej mierze od handlowych potrzeb ruchu, jednakże wpływają na nią również wymagania techniczne bezpieczeństwa ruchu oraz dążenie do jak najlepszego wyzyskania taboru i toru kolejowego przez skrócenie czasu ich zajęcia.

Handlową szybkością pociągu nazywa się średnia jego szybkość za cały czas jazdy pomiędzy krańcowymi punktami odjazdu i przybycia, t. j. łącznie z postojami na stacjach pośrednich. Zwiększenie handlowej szybkości pociągu może być osiągnięte za pomocą skrócenia ilości i długości postojów, choćby nawet *średnia szybkość jazdy* pomiędzy punktami zatrzymania była pozostawiona bez zmiany.

Średnia szybkość pociągu pozostaje w zależności od *rzeczywistej szybkości pociągu* na rozmaitych odcinkach drogi. Ta ostatnia szybkość, jak to już wiemy, zależy od siły pociągowej parowozu i od oporu pociągu. Należy tu jednak zwrócić uwagę, że największa szybkość pociągu podlega ograniczeniom ze względu na bezpieczeństwo, oraz że parowóz nie zawsze może prowadzić pociąg z pewną szybkością, chociażby ona była możliwą i dopuszczalną, gdyż po postoju osiąga się ona zaledwie stopniowo, lub też jest stopniowo zwalniana w razie potrzeby zatrzymania pociągu.

Największa szybkość pociągu pozostaje w zależności od ustroju parowozu prowadzącego pociąg, co zaznaczono już powyżej (patrz str. 37), oraz od ustroju toru kolejowego. Przepisy dotyczące ustroju toru, które obowiązują na drogach żelaznych rosyjskich przy rozmaitych szybkościach jazdy, przytoczone są w rozdziale o ustroju budowy wierzchniej toru.

Największa szybkość jazdy, dopuszczana w linii prostej, zwykle zmniejsza się w łukach nie tylko ze względu na większy opór pociągu, ale również ze względu na bezpieczeństwo ruchu. Tak naprz., według przepisów dróg żelaznych niemieckich największa szybkość jazdy w łukach o promieniu 900 m do 200 m nie powinna przekraczać 90 km/godz. względnie 50 km/godz.

Szybkość pociągu zmniejsza się również na stacjach, przy zbliżaniu się do rozgałęzień toru i w innych miejscach, wymagających ostrożności.

Przy oznaczaniu największej szybkości pociągu w normalnych warunkach ruchu należy mieć na uwadze, że przypadkowe okoliczności prowadzą często nieprzewidziane zatrzymanie lub zwolnienie biegu pociągu. Dla możliwości wynagrodzenia tych strat czasu należy, aby największa szybkość pociągu, stosowana normalnie, była mniejszą od *szybkości krańcowej*, która winna być dopuszczana tylko w razach wyjątkowych. Najłatwiej jest wynagrodzić czas stracony na długich spadkach. Jednakże szybkość na spadku nie powinna przekraczać granicy, przy której jeszcze można byłoby, w zależności od ilości hamulców w pociągu, zatrzymać go na odległości, jakiej wymagają warunki bezpieczeństwa (patrz str. 67). Do

kontrolowania szybkości pociągów używane są przyrządy (patrz str. 50), wskazujące maszyniście szybkość jazdy i odnotowujące ją w postaci wykresu na taśmie.

W poniższej tablicy przytoczone są dane dotyczące handlowej, średniej i największej szybkości pociągów, jaka jest w użyciu na drogach żelaznych rosyjskich. Na drogach żelaznych zagranicznych szybkość pociągów osobowych jest wogóle znacznie większa niż na drogach żelaznych rosyjskich i wynosi dla najszybszych pociągów:

w Niemczech:

szybkość handlowa 70 do 80 *km/godz.*

„ średnia 80 do 85 „

we Francji, Anglii i Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej:

szybkość handlowa 80 do 95 *km/godz.*

„ średnia 85 do 100 „

Szybkość w wiorstach na godzinę	P o c i ą g i					
	Błyskawiczne (Ekspresy)	Kuryerskie i pociągowe	Pocztowe i osobowe	Tow.-osobowe i mieszane	Pociągowe towarowe	Towarowe i wojskowe
Handlowa	50—55	40—50	35—40	30—35	25—30	12—16 ¹⁾
Średnia	55—60	50—55	40—45	35—40	30—35	20—25
Teoretyczna (zasadnicza) ²⁾ . .	65—70	60—65	50—55	40—45	35—40	25—30
Największa (w razie opóźnienia)	75—90	70—75	60—65	45—50	40—45	40

- ¹⁾ Według statystyki dróg żel. rosyjskich średni przebieg wagonu towarowego wynosi:
od jednego naładowania do następnego około 800 wiorst
wagonu ładownego, za jedną wysyłką „ 580 „
na dobę „ 65 „

zatem średni obrót wagonu towarowego, t. j. czas zajęcia go pod jedną wysyłkę $\frac{800}{65} = 12,3$ doby.

Licząc średnią szybkość handlową pociągów towarowych 12 wiorst na godz., przebieg 580 wiorst z ładunkiem trwa 2 doby, zaś przebieg $800 - 580 = 220$ wiorst bez ładunku około 0,8 doby. Wynika stąd że 9,5 doby idzie na naładowanie, wyładowanie, zdawanie na drogi sąsiednie, oczekiwanie i t. p.

Na drogach żelaznych zagranicznych, należących do związku niemieckiego, ze względu na krótszy przebieg ładunków, średni przebieg wagonu towarowego wynosi około 40 wiorst na dobę, zaś średni obrót tegoż przyjęto liczyć około 3—5 dób.

Średni przebieg parowozu wynosi na drogach żel. rosyjskich 100—120 wiorst na dobę.

Powyższe dane mogą służyć za wskazówkę przy określaniu ilości taboru, którym winna rozporządzać droga żelazna, należy jednak mieć na względzie, że średnio około 20%—25% parowozów i około 8% wagonów znajduje się w naprawie.

Obrót wagonów pasażerskich określa rozkład jazdy.

²⁾ patrz str. 73.

Na niektórych drogach żelaznych północno-amerykańskich, posiadających nie-wielką długość, średnia szybkość najszybszych pociągów dosięga 110 *km/godz.* Największa szybkość jazdy w razie opóźnienia się pociągu dochodzi na drogach żelaznych francuskich do 120 *km/godz.* Na drogach żelaznych angielskich i północno-amerykańskich osiągnięto w niektórych razach szybkości, przewyższające 150 *km/godz.*

Szybkość pociągów towarowych we Francyi, Niemczech i Stanach Zjednoczonych Ameryki Północnej jest mniej więcej taka sama, jak w Rosyi. W Anglii średnia szybkość biegu pociągów towarowych wynosi 35 do 45 *km/godz.*

2. Szybkość pociągu w zależności od profilu linii. Oznaczenie czasu biegu pociągu.

Jak to zaznaczono powyżej, przy oznaczaniu średniej szybkości pociągu według rzeczywistych szybkości, z jakimi parowóz może prowadzić pociąg na rozmaitych odstępach drogi, koniecznem jest przyjąć pod uwagę straty czasu wskutek zwalniania i przyspieszania biegu przy zatrzymaniu się pociągu i ruszaniu z miejsca.

Właściwie straty te wynikają nie tylko przy wyjeździe ze stacy i zbliżaniu się do nich, lecz również we wszystkich tych miejscach, w których profil linii raptownie zmienia się z trudniejszego na łatwiejszy, podczas gdy szybkość jazdy zmieniać się może tylko stopniowo. Jednakże straty te częściowo wynagradzają zyski w punktach, gdzie wskutek trudniejszego profilu szybkość jazdy zmniejsza się również stopniowo, korzystając z poprzednio nabytej szybkości. Wobec tego można przyjąć, że na całej długości odstepu o jednostajnym profilu pociąg dąży z jednostajną szybkością, odpowiadającą mocy parowozu i oporowi pociągu; straty zaś przy stopniowem dojściu do tej szybkości i zwalnianiu jej należy brać w rachubę tylko w początku i w końcu biegu pociągu, t. j. przy wyjeździe ze stacy i zbliżaniu się do nich.

Warunki profilu, w których dany pociąg może dążyć z pewną jednostajną szybkością, będą określone, jeżeli według danych przytoczonych powyżej (patrz str. 29—36 i 53—59), zostanie oznaczona dla tej szybkości siła pociągowa parowozu i opór pociągu na linii prostej i poziomej. Przewyżka siły pociągowej nad oporem na prostej poziomej może być użyta na przewyżczenie wzniesienia, którego wielkość otrzyma się; określiwszy wielkość tej przewyżki na jednostkę ciężaru pociągu.

Jeżeli moc parowozu N (w koniach parowych) została już określona według wzorów Nadal'a, Frank'a lub według tablicy Borries'a, to siła pociągowa parowozu Z , odpowiadająca pewnej szybkości v będzie:

$$Z = \frac{75 N}{v} \dots \dots \dots (11)$$

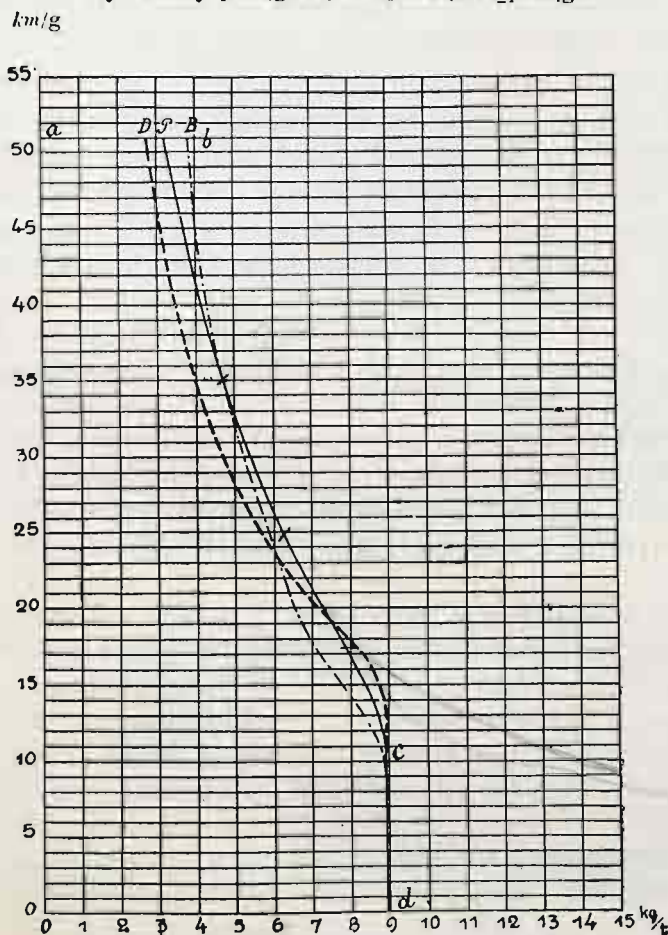
Tablica Grove'go i wzory prof. Petrova podają zależność mocy i siły pociągowej parowozu od stopnia napełnienia cylindrów. Określiwszy dla różnych napełnień moc N i siłę pociągową Z , można otrzymać odpowiadającą im szybkość z tegoż wzoru (11).

Jeżeli, naodwrot, zachodzi potrzeba oznaczenia składu pociągu, który dany

parowóz mógłby prowadzić z pewną szybkością po danym wzniesieniu, to opór pociągu powinien być wyrażony w zależności od niewiadomej ilości wagonów, która określi się następnie ze zrównania siły pociągowej i oporu.

We wszystkich poprzednich obliczeniach nie należy przekraczać granic największej siły pociągowej zależnie od przyczepności kół i wymiarów cylindrów, oraz największej szybkości, na jaką pozwala ustrój parowozu, jeżeli dla największej i najmniejszej szybkości nie są ustanowione ściślejsze granice.

Rys. 46.

Wykres siły pociągowej w kg/t ciężaru pociągu.

Krzywe siły pociągowej:
 D — — — — — według Dedouits'a.
 P ————— „ Petrowa.
 B „ Borries'a.

Dla pociągu o danym składzie zależność pomiędzy szybkością i wielkością wzniesienia określa się najprościej wykresnie.

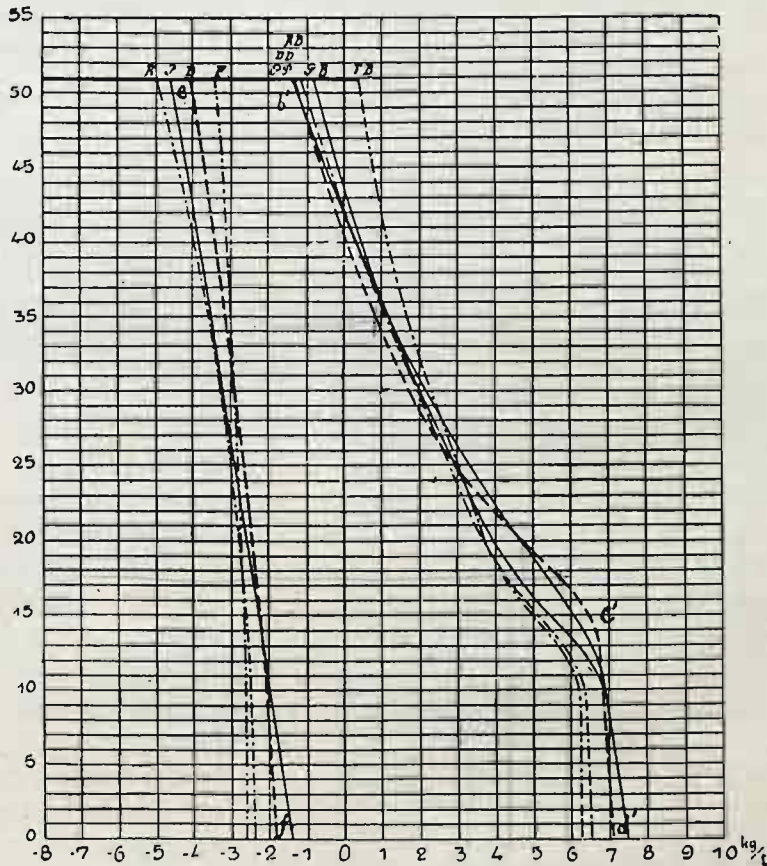
Na wykresie (rys. 46) uwidoczniono zmiany siły pociągowej w kg/t w zależności od szybkości, dla pociągu tegoż składu, dla którego na wykresie (rys. 40) uwidocznił się opór w linii prostej poziomej. Na długości bc krzywe siły pociągowej określone są według wydajności kotła, na zasadzie wzoru (11). Linie ab i cd odpowiadają krańcowej szybkości i krańcowej sile pociągowej.

Jeżeli wielkości siły pociągowej, którą wyobrażają odcięte krzywej bed , odkładać będziemy nie od osi współrzędnych oa , lecz od krzywej oporów ef (rys. 47¹⁾), odłożonych w kierunku odwrotnym od tejże osi, to odcięte krzywej $b'e'd'$ będą wyrażać w tysiącnych pochylenie linii, po której pociąg może dążyć jednostajnie z daną szybkością. Pod pochyleniem linii można ro-

¹⁾ Wykresy rys. 46, 47, 48, 49, 50 i 51 sporządzone są dla pociągu towarowego o składzie, wskazanym na rys. 40 (siła pociągowa i opór według Dedouits'a).

zumieć pochylenie rzeczywiste (wzniesienie albo spadek) lub też *pochylenie urojone*, wyrażające pochylenie rzeczywiste w tysiącnych więcej opór w kg/t , spowodowany położeniem pochyłości w łuku. Wiedząc jakie są szybkości pociągu, odpowiadające różnym pochyleniom urojonym, łatwo oznaczyć czas biegu pociągu, podzieliwszy długość każdej pochyłości przez odpowiednią szybkość.

Rys. 47.
Wykres szybkości biegu pociągu.



Dla uproszczenia tego obliczenia przyjmuje się zwykle za podstawę szybkość na pewnej pochyłości, przeważnie na prostej poziomej, czyli tak zwaną *szybkość zasadniczą albo teoretyczną*.

Szybkość na prostej poziomej określa przecięcie krzywej $b'e'$ z osią rzędnych. Jeżeli do przebycia jednostki długości linii prostej poziomej potrzebny jest czas t_0 , a do przebycia jednostki długości linii, mającej pochylenie s i długość l , czas t , to wystarczy pomnożyć rzeczywistą długość l pochyłości przez współczynnik $\lambda = \frac{t}{t_0}$, aby otrzymać pewną długość $l_0 = \lambda l$ prostej urojonej, na przebycie

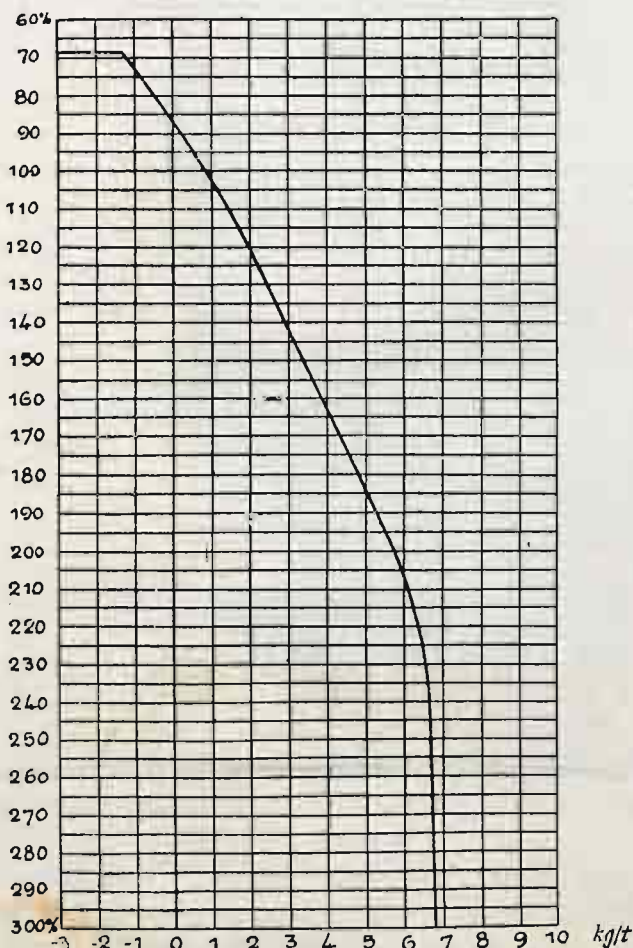
której potrzebny będzie czas $l_0 t_0 = lt$, t. j. takiż sam, jak do przebycia danej pochyłości.

Współczynnik λ nazywa się *współczynnikiem zastępczym (wirtualnym)*, a długość l_0 *długością zastępczą (wirtualną)* do oznaczenia czasu biegu pociągu. Pomnożywszy rzeczywistą długość każdego odcinka linii o jednostajnym profilu przez odpowiedni współczynnik zastępczy i dodawszy te iloczyny, otrzymamy długość zastępczą linii. Do oznaczenia czasu biegu pociągu na całej długości linii wystarczy pomnożyć jej długość zastępczą przez szybkość zasadniczą.

Rys. 48.

Wykres współczynników zastępczych do obliczania czasu biegu pociągu.

Szybkość zasadnicza 35 km/godz.



Na rys. 48 wykres *DD* z rys. 47 przerysowany jest na taką skalę pionową, że pionowe rzędne krzywej, licząc ku dołowi od linii szybkości zasadniczej, oznaczonej 100%, wyrażają procentowe zwiększenie współczynnika zastępczego zależnie od pochylenia.

Łatwo zauważyć, że chociaż wykres rys. 48 nie różni się zasadniczo od wykresu na rys. 47, ułatwia on jednakże obliczenie czasu biegu pociągu, podając bezpośrednio dla każdej pochyłości jej współczynnik zastępczy. W wykresie rys. 48 przyjęto szybkość zasadniczą nieco mniejszą od tej, jaka mogłaby być osiągnięta na prostej poziomej. Zapas ten, jak zobaczymy niżej, daje możliwość szybszego rozpędu pociągu na początku biegu. Przytem przypuszczono, że szybkość zasadnicza będzie w normalnych warunkach również szybkością największą.

Stratę czasu na rozpęd i zatrzymanie. Wszystkie poprzednie rozważania doty-

czyły wyłącznie ruchu z szybkością jednostajną. Aby dojść do tej szybkości niezbędna jest przewyżka siły pociągowej nad oporem, przeciwnym ruchowi. Prze-

wyżka ta zużytkowuje się na przewyciężenie bezwładności pociągu i nadaje mu przyspieszenie dopóty, dopóki nie nastąpi równowaga pomiędzy siłami poruszającymi pociąg i opierającymi się jego ruchowi. Za wyjątkiem wypadku, gdy ruch pociągu odbywa się wyłącznie pod działaniem siły ciężkości, która przewycięża jego opór, do powrotnego przejścia w stan spoczynku wystarcza usunięcie siły popędowej przez zamknięcie przepustnicy. Hamulce pomagają normalnemu oporowi do strawienia siły żywej masy pociągu będącego w ruchu i, zwalniając jego bieg, szybciej doprowadzają do ostatecznego zatrzymania pociągu.

Rozwiązanie zadań dotyczących tych zjawisk, na pierwszy rzut oka dość złożonych, może być osiągnięte w sposób bardzo prosty na zasadzie wyżej przytoczonych danych, odnoszących się do ruchu jednostajnego.

Wykresy jednostajnego ruchu pociągu w rozmaitych warunkach profilu dają nam zupełną możność oznaczenia wszystkich czynników zasadniczych ruchu przyspieszonego i zwolnionego przy profilu stałym. W istocie, wykres rys. 47 podaje dla rozmaitych szybkości nadwyżkę τ siły pociągowej w kilogramach na tonnę ciężaru pociągu, która przeznaczona była do przewyciężenia wzniesienia $s = \tau$. Jeżeli ruch odbywa się nie po największym wzniesieniu, dostępnem dla danej szybkości, lecz w warunkach łatwiejszych, naprz. po prostej poziomej, to pomieniona nadwyżka τ może być zużytkowana na przyspieszenie ruchu γ , które określa się wielkością samej nadwyżki, a mianowicie:

$$\gamma = \frac{\tau}{m} = \frac{g\tau}{1000} \quad \dots \dots \dots \frac{\text{kg}}{\text{t}} \cdot \frac{\text{m}}{\text{sek}^2 \cdot \text{kg}} \quad (55)$$

W wyrazie tym oznacza m masę jednostki ciężaru pociągu, w danym wypadku 1000 kg, i g przyspieszenie siły ciężkości.

Tym sposobem dla otrzymania przyspieszenia, odpowiadającego danej szybkości, wystarczy pomnożyć różnicę τ w kg/t pomiędzy siłą pociągową i oporem dla tejże szybkości przez $\frac{g}{1000} = 0,00981$. Zależność ta daje nam możność oznaczenia szybkości jako funkcji czasu. Zaznaczwszy, że:

$$\frac{dv}{dt} = \gamma \quad \text{i} \quad \int_0^v \frac{1}{\gamma} dv = \int_0^t dt$$

odłożmy na osi rzędnych (rys. 49), podobnie jak na wykresie rys. 47, szybkości pociągu, a na osi odciętych wartości $\frac{1}{\gamma} = \frac{1000}{g\tau}$ odpowiadające im, zgodnie z ostatnim wykresem i równaniem (55). Płaszczyzny, ograniczone osią rzędnych i wykreśloną w ten sposób krzywą $\frac{1}{\gamma} = f(v)$, zmierzone do linii poziomej, odpowiadającej jakiegokolwiek szybkości, będą wyrażać czas t , jaki upłynął od początku ruchu do momentu gdy szybkość ta została osiągnięta.

Określone w ten sposób czasy t , odpowiadające różnym szybkościom, mogą być odkładane na osi odciętych dla otrzymania krzywej $v = f(t)$ zależności po-

z wykresu rys. 40. Przyjmując, że ciśnienie na klocki hamulcowe wynosi 80% ciśnienia koła i posiłkując się dla współczynnika tarcia ϕ między klockiem i obręczą wzorem (47), siła hamująca ψ otrzymuje się:

$$\psi = 0,8 \alpha \varphi = 0,2 \alpha \frac{1 + 0,0112 V}{1 + 0,06 V} \dots \dots \dots (56)$$

Dodawszy tę siłę do oporu pociągu w według wykresu rys. 40, otrzymamy siłę ogólną na jednostkę ciężaru pociągu, która bieg jego hamuje. Przyspieszenie odjemne γ' , wywołane siłą $w + \psi$, określa się według wzoru podobnego do wzoru (55).

$$\gamma' = \frac{w + \psi}{m} = \frac{g(w + \psi)}{1000} \dots \dots \dots (57)$$

Dalsze postępowanie w celu wykresnego oznaczenia straty czasu przy zatrzymywaniu się pociągu jest zupełnie analogiczne z przytoczonym powyżej przy oznaczaniu straty czasu podczas rozpędu i uwidocznione jest na wykresie rys. 50. Według tego wykresu strata czasu przy zatrzymywaniu się pociągu na prostej poziomej wynosi około 16". Do tego należy dodać mniej więcej 15" na straty wskutek stopniowego naciskania hamulców i niejednoczesnego ich działania.

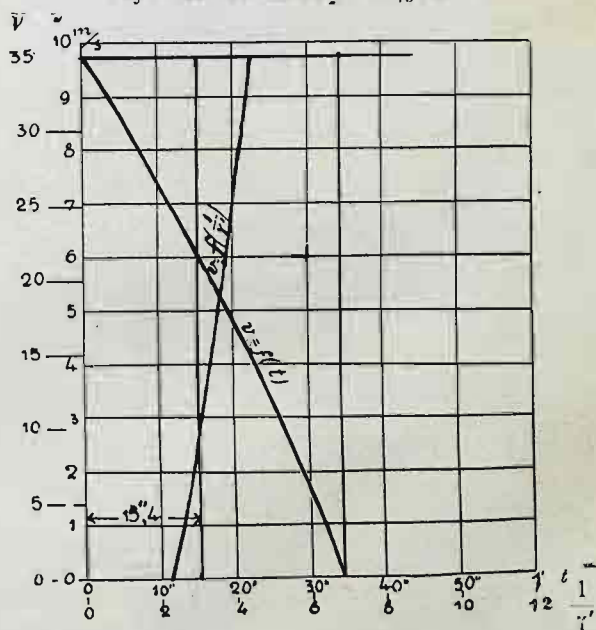
Przedstawiony powyżej sposób oznaczania straty czasu na rozpęd i zatrzymanie pociągu może być również łatwo stosowany w razie, gdy rozpęd i zatrzymanie odbywają się nie na prostej poziomej, lecz na wzniesieniu lub spadku. Cała różnica w budowie wykresu ruchu niejednostajnego polega tylko na tem, że wielkość pochylenia w tysięcznych winna być dodana do współczynnika oporu w na prostej poziomej lub też odjęta od niego. Jednakże zwiększenie lub zmniejszenie straty czasu na rozpęd i zatrzymanie pociągu wskutek tego, że dojazd do stacji nie jest poziomy, nie przedstawia znaczenia istotnego przy obliczeniach zdolności przepustowej, bo wynikające ztąd różnice w czasie przebiegu są bardzo nieznaczne i przytem znoszą się wzajemnie dla pociągów w kierunkach odwrotnych.

Przy sporządzaniu wykresów ruchu pociągów zwykle przyjmuje się stratę na rozpęd 2' i na zatrzymanie 1', razem 3'.

Rys. 50.

Wykres ruchu zwolnionego przy zatrzymywaniu pociągu.

Szybkość zasadnicza 35 km/godz.



3. Najkorzystniejsza szybkość pociągów towarowych.

Stale wzrastające wymagania co do szybkości pociągów osobowych są zupełnie zrozumiałe, ponieważ podróżny osiąga przez to oszczędność na czasie, która często posiada dla niego bardzo ważne znaczenie. Z tego powodu, nie bacząc na wynikające ztąd zwiększenie kosztów, pociągi osobowe winny posiadać szybkość mniej lub więcej znaczną, o ile ze względów technicznych może być ona dopuszczoną. Co się zaś tyczy pociągów towarowych, to wahanie się prędkości tychże w pewnych granicach nie przedstawia pod względem handlowym tak ważnego znaczenia. Wobec tego przy oznaczaniu szybkości, jaką winny mieć pociągi towarowe, należy przede wszystkim brać pod uwagę, o ile szybkość ta będzie korzystną dla eksploatacji drogi żelaznej.

Oznaczmy wydatki eksploatacyjne na pociąg i godzinę przez K . Jeżeli ciężar pociągu wynosi Q tonn, a jego szybkość V km/godz., to koszt przewozu jednej tonny na odległość jednego kilometra wyniesie $\frac{K}{QV}$. Szybkość pociągu, przy której pomieniony koszt wykonania jednostki przewozu okaże się najmniejszym, będzie najkorzystniejszą dla eksploatacji.

Z wydatku eksploatacyjnego K na pociąg i godzinę część, odnosząca się do parowozu, jego ogrzewania i obsługi, może być przyjęta jako stała, druga zaś część, dotycząca wagonów, zależy od składu pociągu, t. j. od jego ciężaru Q_i . Na zasadzie danych statystycznych dróg żelaznych rosyjskich (patrz poniżej, w rozdziale o klasyfikacji kosztów budowy i eksploatacji dróg żelaznych) koszt eksploatacji na pociągowie i pociągów towarowych wynosi w kopiejkach:

$$0,00115 Q_{pod} + 53 = 0,0702 Q_i + 53 = 0,0702 (Q_i + 750) \quad (58)$$

czyli, że jest w stosunku prostym do $Q + 750$, i w tymże stosunku znajduje się koszt pociągo-godziny przy średniej szybkości pociągów towarowych, przyjętej na drogach żelaznych rosyjskich. Wynika ztąd, że najkorzystniejsza szybkość odpowiadać winna warunkowi:

$$\frac{Q + 750}{QV} = Min \quad (59)$$

Ciężar pociągu może być wyrażony w zależności od siły pociągowej parowozu i oporu pociągu. Przyjmując ten opór według wzoru uproszczonego:

$$w_{op} = 2,4 + \frac{V^2}{1300} \quad (36)$$

a siłę pociągową z równania (14):

$$Z = \frac{2500 \sqrt{HR}}{v} = \frac{9000 \sqrt{HR}}{V} = \frac{C}{V}$$

można obliczyć ciężar pociągu z równania

$$\left(2,4 + \frac{V^2}{1300} \pm s\right) (L + Q) = \frac{C}{V} \quad (60)$$

w którym s oznacza pochylenie linii w ‰, zaś L ciężar parowozu z tendrem w t .

$$Q = \frac{C}{V \left(2,4 + \frac{V^2}{1300} \pm s \right)} \quad \text{--- } L \quad \dots \quad (61)$$

Tę wartość dla Q należy wstawić we wzór (59), z którego dla danego typu parowozu, t. j. wiadomych L i C , i dla danego pochylenia linii s można określić najkorzystniejszą szybkość V .

Oznaczenie najkorzystniejszej szybkości drogą analityczną, równając zeru pierwszą pochodną wzoru (59), wymaga rozwiązania równania stopnia 4-go; dlatego prościej jest odnajdywać tę szybkość za pomocą prób stopniowych, podstawiając we wzór (59) kilka wartości dla V .

Jeżeli zachodzi potrzeba oznaczenia najkorzystniejszej szybkości dla linii o długości l , mającej pochylenia $s_1, s_2, s_3 \dots$ na długościach $l_1, l_2, l_3 \dots$, to we wzorze (59) należy pod V rozumieć średnią szybkość pociągu

$$V = \frac{l}{t}$$

W tym wyrazie oznacza t czas biegu pociągu, który określić można z wzoru

$$t = \frac{l_1}{V_1} + \frac{l_2}{V_2} + \frac{l_3}{V_3} \dots$$

jeżeli $V_1, V_2, V_3 \dots$ oznaczać będą szybkości odpowiadające pochyleniom $s_1, s_2, s_3 \dots$. Oznaczając przez $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ stosunki $\frac{l_1}{l}, \frac{l_2}{l}, \frac{l_3}{l} \dots$ długości rozmaitych pochyłości linii do jej długości ogólnej, otrzymamy zamiast wzoru (59) następujący:

$$\frac{Q + 750}{Q} \cdot \frac{1}{V} = \frac{Q + 750}{Q} \left\{ \frac{\alpha_1}{V_1} + \frac{\alpha_2}{V_2} + \frac{\alpha_3}{V_3} + \dots \right\} = \text{Min} \quad \dots \quad (62)$$

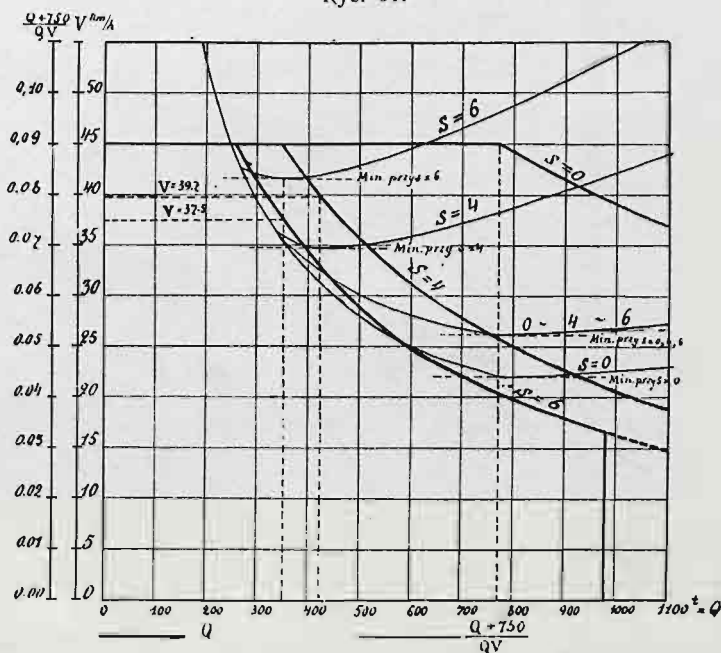
Przyjmując różne szybkości przy pewnem pochyleniu, naprz. różne szybkości zasadnicze V_0 przy $s = 0$ można określić z równania (61) ciężar pociągu Q i odpowiadające tym szybkościom zasadniczym szybkości $V_1, V_2, V_3 \dots$ na różnych pochyłościach, a następnie z równania (62) otrzymać najkorzystniejszą szybkość średnią na całej długości linii i odpowiadającą jej najkorzystniejszą szybkość zasadniczą.

Przypuśćmy naprz., że potrzeba znaleźć najkorzystniejszą szybkość zasadniczą pociągów towarowych dla linii, której profil zawiera 60‰ prostych poziomych, po 15‰ wzniesień 0,004 i 0,006 i po 5‰ takichże spadków. Parowóz niech będzie typu normalnego rosyjskiego $\frac{4}{1}$ posiadający powierzchnię ogrzewalną 152,6 m², płaszczyznę rusztu 1,85 m² i ciężar razem z tendrem 78,5 t. Wykres rys. 51 daje ciężar pociągu Q , jaki parowóz ten może prowadzić po prostej poziomej i po wzniesieniach 0,004 i 0,006 z rozmaitemi szybkościami. Na tymże wykresie uwidoczniono zmienianie się kosztu $\frac{Q + 750}{QV}$ dla linii prostej poziomej

i oddzielnie dla każdego ze wzniesień 0,004 i 0,006 w zależności od ciężaru pociągu Q . Jak widać, najkorzystniejszy ciężar pociągu zmniejsza się w miarę zwiększania się wzniesienia i jednocześnie z tem zmniejsza się również najkorzystniejsza szybkość.

Rozpatrując ruch w obie strony po linii o długości l i o zmiennym profilu, należy określić najkorzystniejszą szybkość i skład pociągów dla całkowitego ich przebiegu, t. j. na długości $2l$, przyjmując, że pochylenia linii na przebiegu powrotnym skierowane są w odwrotną stronę. Mając to na względzie, należy rozumieć we wzorze (62) pod $\alpha_1, \alpha_2, \alpha_3 \dots$ stosunek długości pochyłości, rozpatrywanych w obu kierunkach biegu pociągów, do podwojonej długości linii.

Rys. 51.



Dla danej linii najkorzystniejsza szybkość winna odpowiadać najmniejszej wartości wyrazu

$$\frac{Q+750}{Q} \cdot \frac{1}{V} = \frac{Q+750}{Q} \left(\frac{0,6}{V_1} + \frac{0,15}{V_2} + \frac{0,15}{V_3} + \frac{0,05}{V_4} + \frac{0,05}{V_5} \right)$$

w którym V_1, V_2, V_3, V_4 i V_5 oznaczają szybkości, odpowiadające ciężarowi pociągu Q , a mianowicie V_1 na prostej poziomej, V_2 i V_3 na wzniesieniach 0,004 i 0,006, V_4 i V_5 na spadkach 0,004 i 0,006. Dla danego typu parowozu największą szybkość w normalnych warunkach ruchu należy ograniczyć do 45 km/godz., wobec czego V_4 i V_5 są równe 45 km/godz. Znalazłszy następnie szybkości V_2 i V_3 , odpowiadające różnym szybkościom zasadniczym V_1 , otrzymamy dla powyższego wyrazu szereg wartości, uwidoczonych na wykresie rys. 51 w postaci krzywej 0—4—6. Jak widać, naj-

korzystniejszy ciężar pociągu $Q = 770 \text{ t}$ i odpowiadająca mu szybkość zasadnicza $V_1 = 45 \text{ km/godz.}$ Najkorzystniejsza zaś średnia szybkość ruchu otrzymuje się $V = 38,1 \text{ km/godz.}$

Należy zauważyć, że wobec łagodnej krzywizny krzywej 0—4—6 nawet dość znaczne zmniejszenie szybkości zasadniczej niewiele zwiększa koszt. Tej okoliczności należy przypisać, że na potrzebę zwiększenia szybkości pociągów towarowych mało zwraca się uwagi, jakkolwiek możliwość specjalizacji pociągów przy mniejszym ich składzie oraz szybszy obrót wagonów i jednostajniejsza szybkość pociągów, pozwalająca unikać straty czasu przy częstych wyprzedzaniach pociągów powolniejszych przez pośpieszne, przedstawiają niewątpliwie dodatkowe korzyści.

4. Zaopatrywanie parowozów pociągowych w wodę i paliwo.

Przy rozpatrywaniu pracy parowozu (patrz str. 30 i 35) przytoczono dane co do rozchodu pary i paliwa na konia parowego. Zgodnie z temi danymi rozchód pary wilgotnej (wody) wynosi około 10 do 12 kg na konia parowego i godzinę, t. j. na $75 \times 3600 = 270000 \text{ mkg/godz.}$ W parowozach dwuprzężnych rozchód pary jest w przybliżeniu o 15% mniejszy niż w parowozach zwykłych.

Z jednego kilograma węgla, w zależności od jego wartości cieplikowej, otrzymuje się w kotle parowozu od 6 do $8\frac{1}{2} \text{ kg}$ pary.

Na zasadzie tych danych rozchód wody i paliwa na pewnej długości, naprz. na długości szlaku pomiędzy dwiema stacyami, może być obliczony, znając siłę pociągową Z parowozu w różnych warunkach profilu.

Jeżeli rozchód wody w kg na konia parowego i godzinę oznaczmy przez $\frac{S}{N}$, to na odciepie o jednostajnym profilu długości l_0 kilometrów, naprz. na prostej poziomej, na której siła pociągowa równa się $Z_0 \text{ kg}$, rozchód wody wyniesie:

$$\frac{S}{N} \cdot \frac{Z_0}{270} l_0 = q_0 l_0 \dots \dots \dots (63)$$

Na odciepie o jednostajnym profilu długości l_1 , na którym siła pociągowa jest Z_1 , rozchód wody wyniesie:

$$q_1 l_1 = \frac{S}{N} \cdot \frac{Z_1}{270} l_1 = q_0 \frac{Z_1}{Z_0} l_1 = q_0 \lambda_1 l_1 \dots \dots \dots (64)$$

Dodając rozchody, określone według wzorów (63) i (64) i przyjąwszy za podstawę do obliczenia rozchód wody na długości jednego kilometra przy sile pociągowej Z_0 , otrzymamy ogólny rozchód wody na długości całego szlaku:

$$q = q_0 (l_0 + \lambda_1 l_1 + \lambda_2 l_2 + \dots) = q_0 \lambda l \dots \dots \dots (65)$$

Współczynniki λ , λ_1 , $\lambda_2 \dots$ zowią się *współczynnikami zastępczymi (wirtualnymi)*, a długości λl , $\lambda_1 l_1$, $\lambda_2 l_2 \dots$ *długościami zastępczemi (wirtualnemi)* do wyznaczania siły pociągowej.

Długość zastępcza linii do wyznaczania siły pociągowej nie jest równa długości zastępczej do oznaczania czasu biegu pociągu, której określenie podano wyżej (patrz str. 74). Jakkolwiek bowiem przy średnich szybkościach praca parowozu jest mniej więcej stałą, wobec czego można przyjąć, że siła pociągowa pozostaje w stosunku odwrotnym do szybkości, to jednak przy szybkościach bardzo małych i bardzo dużych praca ta zmniejsza się wskutek ograniczenia w pierwszym wypadku

siły pociągowej, w drugim zaś szybkości ruchu. Przy szybkości krańcowej siła pociągowa może się zmieniać od największego swego znaczenia, odpowiadającego całkowitej pracy parowozu, do zera. Ten ostatni wypadek ma miejsce, gdy wielkość spadku dosięgnie granicy, przy której składowa siły ciężkości, równoległa do toru, równa się oporowi pociągu.

Biorąc pod uwagę to, co powiedziano powyżej, wykres współczynników zastępczych do określenia siły pociągowej, sporządzony dla tegoż pociągu co i wykres rys. 48, przedstawi się w postaci uwidocznionej na rys. 52.

Do rozchodu wody, obliczonego według wzoru (65), należy dodać na pracę przy przewyżczeniu bezwładności pociągu podczas rozpędu od stanu spoczynku

do szybkości zasadniczej v_1 m/sek. = $\frac{V_1}{3,6}$ km/godz.:

$$\begin{aligned} \frac{1}{270000} \cdot \frac{S}{N} \cdot \frac{mv_1^2}{2} &= \frac{1}{270} \cdot \frac{S}{N} \cdot \frac{L_t + Q_t}{2g} \cdot \frac{V_1^2}{3,6^2} = \\ &= \frac{1}{270} \cdot \frac{S}{N} \cdot 0,004 (L_t + Q_t) V_1^2 \dots \dots \dots (66) \end{aligned}$$

Oprócz tego, biorąc pod uwagę straty przy pompowaniu wody za pomocą smoczków (injektorów) oraz wskutek porywania jej cząsteczek przez parę i t. p., należy dodać do obliczonego rozchodu wody na zapas około 20%.

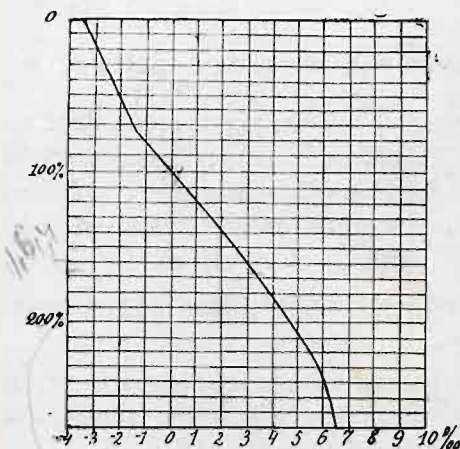
W przybliżeniu można powiedzieć (patrz str. 29), że na kwadratowym metrze rusztu spala się na godzinę średnio nie więcej nad 500 kg węgla. Jeżeli więc powierzchnia rusztu czteroosiowego parowozu towarowego równa się naprz. $2m^2$, to dla takiego parowozu rozchód węgla wyniesie około 1 t, a rozchód wody, łącznie z rozmaitemi stratami (przy węglu średniego gatunku), około 8 t na godzinę.

W tendrze trzyosiowym mieści się 5 t węgla i 15 t wody, a więc przy wspomnianym rozchodzie zapasy te starczą w przybliżeniu: węgla na 5 godzin, zaś wody na 2 godziny jazdy.

Taki stosunek tych zapasów jest uzasadniony, gdyż nabranie wody może być

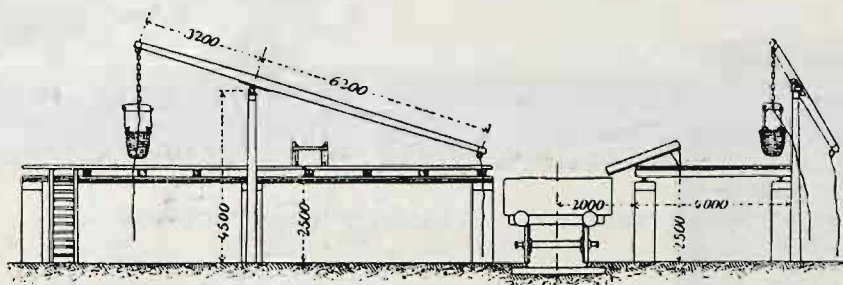
Rys. 52.

Wykres współczynników zastępczych do wyznaczania siły pociągowej dla składu pociągu wskazanego na rys. 40.



uskutecznione podczas postoju pociągu na stacji w ciągu 5—2 minut, gdy tymczasem nabranie paliwa wymaga dłuższego czasu. Nadto po 3—6 godzinnej jeździe ruszt, rury płomienne i dymnica parowozu zanieczyszczają się i ze względu, że powstaje stąd zmniejszenie wydajności kotła, wymagają oczyszczenia. To ostatnie odbywa się na stacjach, gdzie są parowozownie i urządzenia do oględzin i naprawy parowozów oraz składy paliwa. Na tych stacjach parowóz, który ukończył już swój bieg, odłącza się od pociągu, na jego zaś miejsce wchodzi inny parowóz, który podstawia się do pociągu z pełnym zapasem paliwa i wody.

Rys. 53.



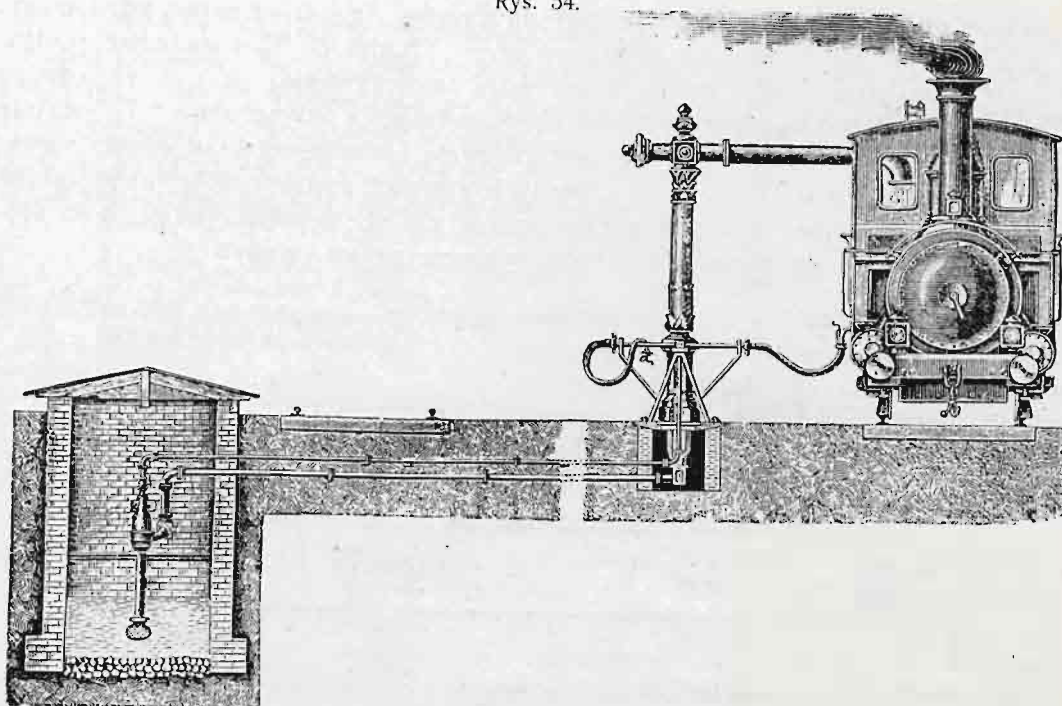
Paliwo ze składów ładuje się na tendry z wysokich pomostów (rys. 53), na które podnosi się je w koszach przy pomocy żorawi lub też dowozi się po szynach w małych wagonikach. Paliwo przygotowane zawczasu na pomoście robotnicy donoszą następnie w koszach i zsypują na tender lub też wyładowuje się ono do tendra całymi wagonikami przy pomocy żorawi, po równiach pochyłych albo za pomocą innych urządzeń, ułatwiających i przyspieszających tę czynność.

Zaopatrywanie tendrów w wodę bezpośrednio u źródła (rzeki, stawu, studni i t. p.) może być uskuteczniane niewielkim kosztem za pośrednictwem pulsometru, działającego za pomocą pary z parowozu (rys. 54). Jednakże pulsometr pracuje bardzo wolno i z tego powodu stosowany jest przeważnie tylko w urządzeniach czasowych. Zwykle zaś tendry zaopatruje się w wodę za pomocą żorawi wodnych (rys. 55), ustawianych przy torach wjazdowych i wyjazdowych oraz przy parowozowniach. Woda do żorawi doprowadza się ze zbiorników umyślnie do tego celu urządzonych lub kadzi, umieszczonych na basztach odpowiedniej wysokości.

Żoraw wodny składa się z kolumny pionowej i z obracającej się około niej rury poziomej z zagiętym ku dołowi wylotem, który może być ustawiony nad otworem zbiornika wody w tendrze. Woda ze zbiornika w baszcie wodnej, mieszczącej się zwykle na samej stacji, doprowadza się do żorawia wodnego rurami.

Szybkość wypływu wody z żorawia, a więc i napełnienia tendra, zależy od średnicy tych rur oraz od wysokości naporu wody w zbiorniku. Przepisy dróg żelaznych rosyjskich wymagają, aby średnica rur rozprowadzających wodę była nie mniejsza jak 6'' (152 mm). Dla długich wodociągów średnica ta winna być tak obliczoną, ażeby żoraw wodny dostarczał na minutę nie mniej niż 0,85 m³ wody. Każd

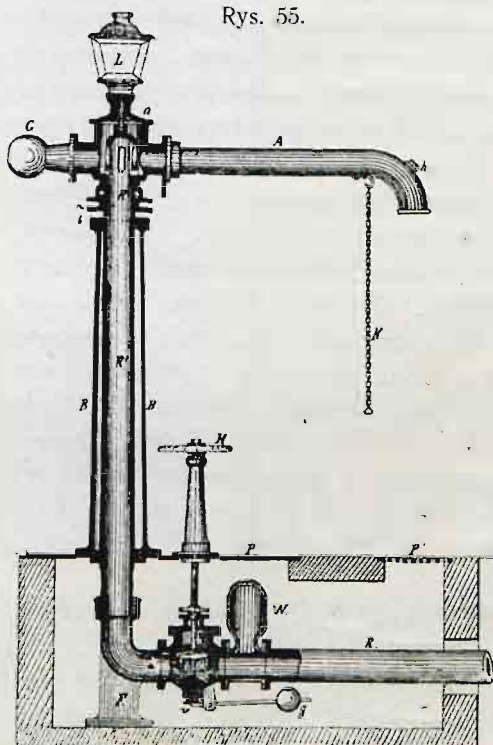
Rys. 54.



baszty wodnej winna posiadać objętość nie mniejszą jak 8 saż.³ (17 m³) i winna być umieszczoną na wysokości conajmniej 4,5 saż. (9,6 m³) nad poziomem szyn.

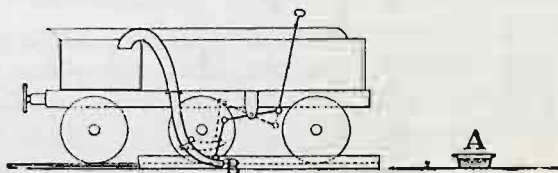
Pompownia umieszcza się zwykle możliwie jak najbliżej od źródła, w celu zmniejszenia długości rur ssących i z tegoż powodu przeważnie oddzielnie od baszty wodnej. Napompowywanie wody do zbiorników uskutecznia się za pomocą pomp parowych, a w razie niewielkiego rozchodu wody ręcznie lub za pomocą wiatraków. Średnica rur tłoczących stosuje się nie mniejsza niż 4" (102 mm). W miejscowościach górzystych zdarza się niekiedy możliwość przeprowadzenia wody do zbiorników spadkiem naturalnym.

Rys. 55.



Dla uniknięcia straty czasu na nabieranie wody na stacjach, na niektórych drogach żelaznych angielskich i północno-amerykańskich bywa stosowany sposób zaopatrywania tendrów w wodę w drodze, podczas biegu pociągu, według systemu Ramsbottom'a. W tym celu na torze pomiędzy szynami urządzone są koryta napełnione wodą, mające około 400 m długości (rys. 56). Gdy pociąg zbliży się do miejsca, gdzie się zaczyna koryto A, maszynista opuszcza w nie koniec rury wygiętej B, po której woda wskutek szybkości, z jaką biegnie pociąg, podnosi się z koryta do zbiornika w tendrze i wypełnia go bardzo szybko.

Rys. 56.



5. Rozkład jazdy pociągów. Wykresy jazdy.

Porządek ruchu pociągów na kolei żelaznej określa się rozkładem jazdy pociągów, w którym oznaczony jest dla każdego pociągu czas przyjazdu i odjazdu na poszczególnych stacjach.

Przy układaniu takiego rozkładu należy brać pod uwagę nie tylko handlowe potrzeby ruchu pod względem czasu przyjazdu i odjazdu pociągów, długości postojów, komunikowania się pociągów na stacjach węzłowych i t. p., lecz również wymagania techniczne, dotyczące wyprzedzania pociągów powolnych przez pośpieszne, mijania się pociągów różnych kierunków na liniach jednotorowych, zmiany parowozów, nabierania wody i paliwa i inne. Za podstawę rozkładu należy przyjmować czas biegu pociągu na każdym odcinku pomiędzy dwiema stacjami, zależnie od szybkości zasadniczej ustanowionej dla każdego pociągu.

Do ułożenia rozkładu jazdy pociągów, uwzględniającego wszystkie wymienione warunki, służą tablice wykreślne, wskazujące dla danej linii kolejowej miejsce znajdowania się pociągów o każdej porze. W tablicach tych, zwanych *wykresami jazdy pociągów*, na osi odciętych odkłada się czas, a na osi rzędnych drogę, którą pociąg przebywa. Odpowiednio do tego wykresy dzielą się liniami pionowymi na 24 godziny, a te ostatnie na drobniejsze jeszcze (5—10 minutowe) okresy czasu, poziomymi zaś liniami wykresy te dzielą się na odstępy, odpowiadające odległościom pomiędzy stacjami i innymi punktami zatrzymywania się pociągów.

Na wykresach jazdy pociągów oznacza się bieg nie tylko pociągów stale kursujących, ale również i takich, których potrzeba, choćby czasowa, jest przewidywana. Wykresy jazdy, na których uwidoczniona jest największa ilość pociągów, mogących jednocześnie przebiegać na danej linii kolejowej, nazywają się maksymalnymi.

na szlaku dwutorowym Warszawa-Skierniewice i jednotorowym Skierniewice-Czerniewice dr. żel. Warszawsko-Wiedeńskiej



Lieczy przy obniżeniach wodnionych, zorniakach wodnionych i moryach oznaczają, które tychże.

Przez tego przy wodnionych oznaczono pojemność każdej m w 1

Obligowani Wawozarzy oraz między sługiemi oznaczono w wawozarstwie, zaś długoci lukiem i wypożyczeń na profile podłużnym w sążniach.

Każdy pociąg oznacza się oddzielnym numerem, przyczem pociągi jednego kierunku oznaczają się numerami nieparzystymi, drugiego zaś parzystymi. Pociągi towarowe oznaczają się wyższymi numerami niż osobowe, wogóle zaś numeracja pociągów, mających nie jednakowe przeznaczenie, zaczyna się od różnych setek lub dziesiątek. Dokładny czas przybycia i wyjazdu pociągów ze stacyi wskazywany jest na wykresach cyframi, oznaczającemi minuty. Z boku wykresów pociągów umieszcza się zwykle skrócony profil linii z oznaczeniem stacyi, na których są urządzone parowozownie, wodociągi, wagi wagonowe, obrotnice i t. p.

Na poprzedniej stronicy przedstawiona jest część wykresu jazdy pociągów na szlaku dwutorowym Warszawa-Skierniewice i jednotorowym Skierniewice-Czerniewice drogi żelaznej Warszawsko-Wiedeńskiej.