

W tem równaniu  $M_1 = \Sigma m_1$  oznacza masę wszystkich zestawów,  $\gamma$  zaś przyspieszenie postępowego ruchu pociągu. Zatem opór bezwładny  $T$  pociągu, poruszającego się z przyspieszeniem  $\gamma$ , równa się:

$$T = \gamma \left( M + M_1 \frac{\rho^2}{r^2} \right) = \frac{P}{g} \gamma \left( 1 + \frac{P_1}{P} \cdot \frac{\rho^2}{r^2} \right) \dots \dots \dots (26)$$

W tym wyrazie  $P$  i  $P_1$  oznaczają całkowity ciężar pociągu i ciężar jego zestawów kół, zaś  $g$  przyspieszenie siły ciężkości. Przy istniejących stosunkach ciężaru zestawów do ich obciążenia oraz przyjętem rozmieszczeniu materiału zestawów, zwiększenie bezwładności pociągu wskutek obracania się kół, według wyrazu  $\frac{P_1}{P} \cdot \frac{\rho^2}{r^2}$ , wynosi 6<sup>0</sup>/<sub>0</sub> — 10<sup>0</sup>/<sub>0</sub>.

2. Sposoby doświadczalne określania siły pociągowej parowozu i oporu pociągu. Siłomierze. Pomiary pracy parowozu zapomocą indykatorów. Stacja doświadczalna Goss'a. Pomiary czasu i przebieżonych odległości. Wskaźniki szybkości. Bezpośrednie mierzenie przyspieszeń. Wahadło dynamometryczne Dedouits'a.

Wobec licznych okoliczności, wpływających na opór pociągów, i różnorodności związanych z nim zjawisk, określenie wpływu poszczególnych czynników tego oporu zapomocą obliczeń, opartych na podstawach teoretycznych, nie jest możliwe i wskutek tego zachodzi potrzeba oparcia się prawie wyłącznie na doświadczeniach i spostrzeżeniach, wykonanych w warunkach normalnego biegu pociągów, zadowalając się określeniem oporu, wynikłego pod wpływem łącznego działania kilku przyczyn.

Opór pociągu posiada pierwszorzędne znaczenie ekonomiczne, gdyż od niego zależna jest siła pociągowa, potrzebna do wykonania przewozu. Zrozumiałem jest przeto, że do doświadczeń i spostrzeżeń w celu określenia oporu pociągu przystąpiono zaraz w początkach budowy dróg żelaznych. Do należytego ocenienia wyników doświadczeń i spostrzeżeń w tym kierunku dokonanych konieczne jest przyjęcie pod uwagę sposobów ich wykonania, które nie są jednakowo dokładne i nie zawsze obejmują całość oporu pociągu.

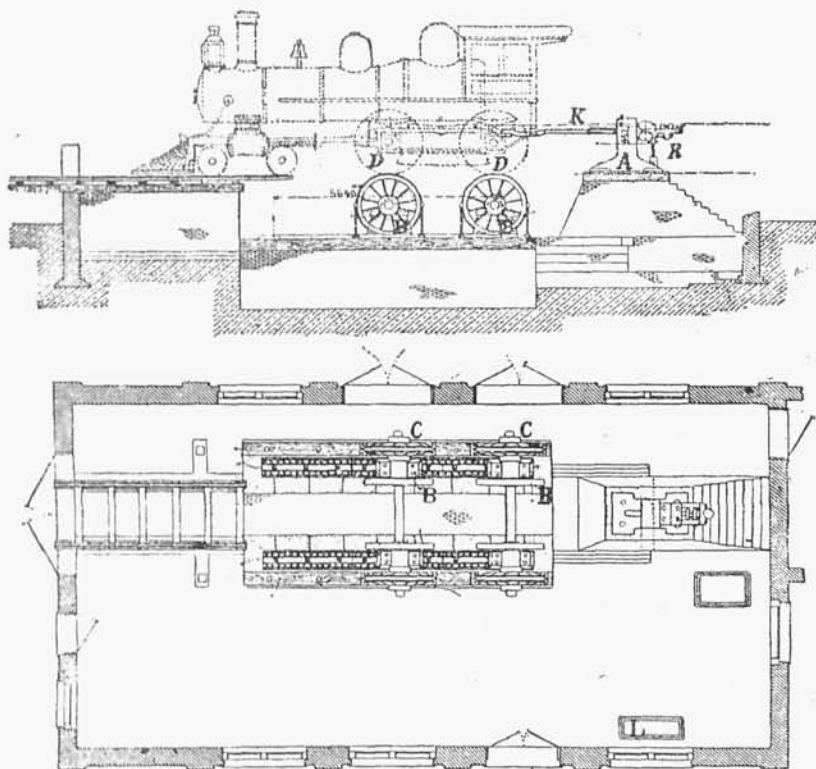
Z tego co powiedziano o sile pociągowej i oporze pociągu wynika, że o ile okoliczności biegu pociągu i przekrój podłużny linii są wiadome, to można określić opór pociągu, znając siłę pociągową, lub odwrotnie, określić tę ostatnią, znając opór pociągu. Z tego powodu sposoby pośredniego i bezpośredniego określenia obu tych sił muszą być jedne i te same i poniżej rozpatrywane są wspólnie.

Praca stałych silników parowych mierzy się zwykle zapomocą 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 włączone 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 wahaniasię wielkości oporu i siły pociągowej, wskazania siłomierzy sprężynowych są bardzo niewyraźne.

*Indykatory* dają możność określenia 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 przezwycięża, to przypisać to należy tej okoliczności, że zdejmowanie wykresów zapomocą 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 Purdue* w Ameryce.



Rys. 52.

Stacja doświadczalna do badań nad pracą parowozów uniwersytetu Purdue (Lafayette, Stany Zjedn. A. P.).

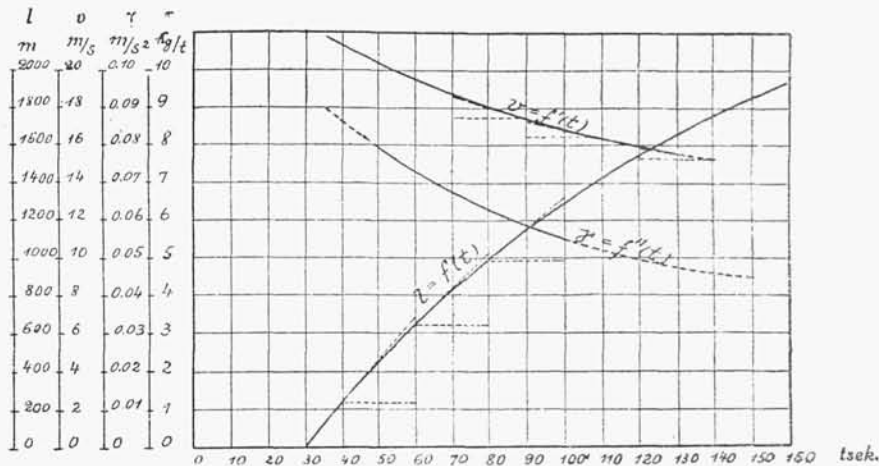
Badany parowóz (rys. 52), przytrzymywany w stałej odległości od podstawy *A*, opiera się kołami napędnymi *DD* na kołach *BB*, obracających się w panewkach nieruchomych. Gdy parowóz pracuje, to obrót kół napędnych udziela się również kołom podtrzymującym, o ile opór, przeciwny obracaniu się tych ostatnich, nie przewyższa tarcia między jednymi i drugimi. Wspomniany opór może być dowolnie zwiększany zapomocą tarcz hamulcowych *CC*, osadzonych na osiach tychże kół podtrzymujących, wymagając do ich obrotu odpowiedniego zwiększenia siły pociągowej parowozu. Siła pociągowa na haku sprzęgowym *K* mierzy się zapomocą maszyny rozrywającej z tłocznią hydrauliczną, przez co unika się wszelkiego postępowego ruchu parowozu. Jednocześnie zdejmowane są wykresy zapomocą indykatora. W ten sposób otrzymuje się możność określenia całkowitej siły pociągowej

parowozu przy rozmaitych szybkościach i napełnieniach cylindrów oraz (po odjęciu siły ciągnącej na haku sprężowym) określenia oporu wewnętrznego parowozu.

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

Przyspieszenie można określać, obserwując czas w pewnych odstępach przebieżonej drogi lub też obserwując szybkość w pewnych odstępach czasu, lub wreszcie, mierząc przyspieszenie bezpośrednio zapomocą osobnego przyrządu.

Obserwowanie czasu w określonych odstępach przebieżonej drogi nie wymaga żadnych innych przyrządów oprócz zegarka. Odczytywanie czasu w drobnych odstępach nie może być dokonywane z należytą 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. Zapomocą chronografu można odnotowywać z dokładnością do  $\frac{1}{5}$  sekundy czas przy mijaniu palików, przejściu złączy szyn lub co pewną ilość obrotów koła, uderzeń tłoka i t. p.



Rys. 53.

Odłożywszy na osiach współrzędnych otrzymane znaczenia funkcji  $l = f(t)$ , t. j. czasu odpowiadającego przebieżonym odstępom drogi (rys. 53), ma się możliwość wyznaczenia krzywej zasadniczej, dostosowując jej kształt przy pomocy giętkiej linijki do możliwie największej ilości znalezionych punktów.

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 zapomocą powtórnego różniczkowania, wykonanego tak samo jak pierwsze, do krzywej przyspieszeń (rys. 53):

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

Siła  $T$ , nadająca pociągowi ruch o przyspieszeniu  $\gamma$ , otrzymuje się z równania:

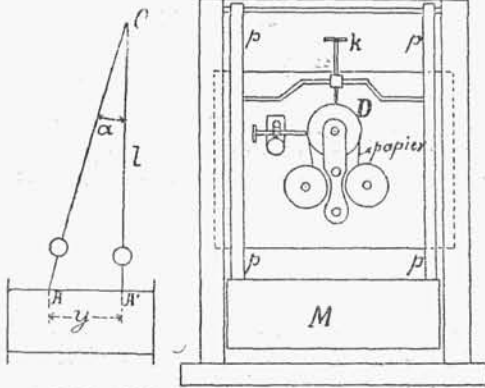
$$T = \alpha P \cdot \frac{\gamma}{g} \quad (27)$$



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, w ciągu którego pociąg był w ruchu, przyjmowane były jako równe pracy oporu pociągu przy średniej szybkości  $\frac{v}{2} = \frac{l}{t}$ . Oczywiście, że ten sposób określenia oporu pociągu jest jeszcze mniej dokładny niż poprzedni.

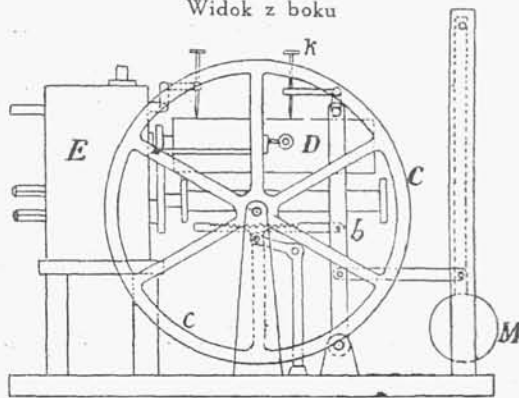
Bezpośrednie zmierzenie przyspieszenia  $\gamma$  pociągu, będącego w ruchu, a więc i siły  $\tau = \frac{\gamma}{g}$  na jednostkę jego ciężaru, która to przyspieszenie wywołuje, może być dokonane zapomocą wahadła dynamometrycznego.

Widok z przodu.



Rys. 55a.

Widok z boku



Rys. 55b.

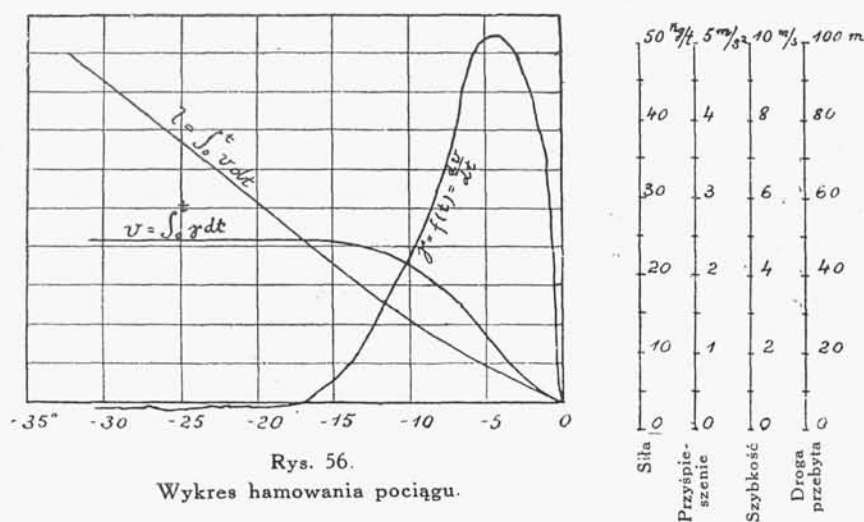
Wahadło dynamometryczne Dedouits'a.

Wyobraźmy sobie wahadło proste  $l$  (rys. 55a), umieszczone w pociągu w ten sposób, że pionowa płaszczyzna ruchu tegoż wahadła jest równoległa do kierunku ruchu pociągu. Jeżeli pod wahadłem umieścimy wałek 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 wahadle Dedouits'a (rys. 55b) osiąga się zwiększenie tych rzędnych przy pomocy drążka  $b$ , wahającego się w tejże płaszczyźnie, co wahadło główne. Ostatnie składa się z ciężkiego cylindra  $M$ , zawieszonego na dwóch prętach  $pp$ . Dla zwiększenia bezwładności wahadła w wymaganym stopniu, w celu uniknięcia zbyt częstych jego drgań na drobne wstrząśnienia i otrzymania wyraźnego wykresu sił, działających przez pewien czas, nie zaś momentalnie, wahadło może być połączone zapomocą

linijek zębatych z jednym lub dwoma kołami rozpędowymi CC. Wykres sił otrzymuje się na walcu  $D$ , który wprowadza się w ruch jednostajny zapomocą mechanizmu zegarowego  $E$ .



Rys. 56.

Wykres hamowania pociągu.

Wykres przyspieszenia pociągu według czasu (rys. 56), rysowany na walcu  $D$  ołówkiem  $k$ , daje możliwość określenia szybkości i przebytej drogi, całkując najprzód:

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

W tym celu należy zmierzyć płaszczyznę, którą ogranicza krzywa przyspieszeń i 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  $l_1, l_2, l_3 \dots$  zapomocą całkowania, wykonywanego w tenże sam sposób, jak poprzednie:

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

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, wskutek 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 prostopadłym 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. *Petrowa*, nie może wynosić więcej nad 5% do 6% od wskazanej pracy pary w cylindrach. Tak więc określenie oporu pociągu na podstawie przyspieszenia, obserwowanego podczas ruchu pociągu pod wyłącznym działaniem sił bezwładności i ciężkości, jest dość dokładne, co wszakże nie zmniejsza bynajmniej znaczenia indykatorowych wykresów pracy pary w cylindrach, za których pomocą opory, określone w inny sposób, winny być sprawdzane.