

Parowozy beztendrowe znajdują szerokie zastosowanie na drogach żelaznych wąskotorowych. Zwiększające się wymagania co do ciężaru pociągów i ulepszenie ustroju parowozów co do przesuwności osi sprawiły, że zamiast parowozów dwu i trzy osiowych typu 0-2-0 i 0-3-0, bardzo dogodnych przy ostrych łukach ze względu na krótki rozstaw osi skrajnych, stosowane są obecnie na tych drogach coraz częściej parowozy beztendrowe o czterech i pięciu osiach sprzężonych w jednej ramie lub typu Malleta 0-3-0+0-3-0 i 0-4-0+0-4-0.

Ciężar parowozów dróg żelaznych znaczenia ogólnego waha się w granicach od 35 do 80 *t* w stanie próżnym, co odpowiada 40 do 100 *t* w stanie roboczym. Nacisk osi napędnych w spoczynku, wpływający zasadniczo na ustrój budowy wierzchniej, podlega na różnych drogach żelaznych niejednakowym ograniczeniom i w miarę wzrastania wymagań co do ciężaru pociągów stale się zwiększa. Na drogach żelaznych polskich znaczenia ogólnego, największy nacisk osi napędnych wynosi od 14 do 17 *t*, na innych europejskich do 20 *t*, w Stanach Zjednoczonych A. P. do 30 *t*.

Na drogach żelaznych wąskotorowych największe obciążenie osi napędnej wynosi przy torze 1 *m* i 0,75 *m* od 6 do 12 *t*, przy torze 0,6 *m* od 5 do 6 *t* i mniej. Przepisy polskie (P. T. M.) zalecają stosować na drogach żelaznych znaczenia miejscowego następujące wielkości największego nacisku osi: na kolejach o torze normalnym, po których przechodzą wagony linii znaczenia ogólnego 12 *t*, w innych wypadkach 10 *t*, na kolejach wąskotorowych 1 *m* 9 *t*, 0,75 *m* 8 *t* i 0,6 *m* 7 *t*.

Tendry bywają o dwóch, trzech i czterech osiach i mieszczą w sobie zapas od 3 do 12 *t* węgla i od 8 do 32 *t* wody. Ciężar własny tendrów wynosi od 70% do 90% ich obciążenia. Całkowity ciężar tendrów wraz z ładunkiem wynosi od 9 do 15 *t* na oś.

Parowozy beztendrowe niosą zapasy węgla i wody: na drogach żelaznych o torze normalnym węgla od 2 do 6 *t* i wody od 4 do 8 *t*, na drogach zaś wąskotorowych węgla od 0,5 do 1,5 *t* i wody od 1 do 3 *t*.

Koszt parowozów z tendrami wynosił w r. 1914 od 1400 do 1600 zł. za tonnę ciężaru, w zależności od ustroju. Obecnie koszt ten wynosi w fabrykach krajowych blisko o 50% więcej.

Dane, dotyczące niektórych charakterystycznych typów parowozów i tendrów zamieszczone są w poniższej tablicy 12 (patrz str. 102 i 103).

ROZDZIAŁ IV.

Opór pociągów.

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

Tab. 9. Dane dotyczące parowozów

| N. | RODZAJ PAROWOZU | P a r o w o z y | | | | | |
|--------------------------|--|-----------------|----------------------|------------------|-------------------|-------------|-----------------------------|
| | | Rok dostawy | Szerokość toru mm | Układ osi | Rodzaj pary | Rozprężanie | Manom. prężność pary atm |
| I. Pośpieszne i osobowe. | | | | | | | |
| 1 | Polskich dr. żel. państw. ser. Pd 5 (typ pruski S ₆) . . . | 1906 | 1435 | 2—2—0 | P r e g r z a n a | Jp | 12 |
| 2 | " " " " ser. Oi 1 (typ pruski P ₆) . . . | 1906 | " | 1—3—0 | | Jp | 12 |
| 3 | " " " " ser. Ok 22 | 1923 | " | 2—3—0 | | Jp | 12 |
| 4 | Belgijskich dr. żel. państw. | 1923 | " | 2—3—0 | | Dp | 16 |
| 5 | Polskich dr. żel. państw. ser. O 112 (typ austriacki 429) . | 1911 | " | 1—3—1 | | Jp | 15 |
| 6 | " " " " ser. P n 12 (typ austriacki 310) . | 1912 | " | 1—3—2 | | Dp | 16 |
| 7 | " " " " ser. Om 101 (typ. wirtemb.) . . | — | " | 2—3—1 | | Dp | 15 |
| 8 | Francuskiej dr. żel. Orleańskiej | 1923 | " | 2—3—1 | | Jp | 12 |
| II. Towarowe. | | | | | | | |
| 9 | Polskich dr. żel. państw. ser. Tp 4 (typ pruski G ₁₈) . . | 1912 | " | 0—4—0 | P r e g r z a n a | Jp | 14 |
| 10 | " " " " ser. Tr 20 (typ amerykański) . | 1920 | " | 1—4—0 | | Jp | 13,5 |
| 11 | " " " " ser. Tr 21 (fabr. w Chrzanowie) . | 1922 | " | 1—4—0 | | Jp | 13 |
| 12 | " " " " ser. Tw 12 (typ austriacki 80) . | 1911 | " | 0—5—0 | | Jp | 14 |
| 13 | " " " " ser. Tw 1 (typ pruski G ₁₀) . . | 1910 | " | 0—5—0 | | Jp | 12 |
| 14 | " " " " ser. Ty 23 | 1923 | " | 1—5—0 | | Jp | 14 |
| 15 | Japońskich dr. żel. państw. | — | 1067 | 0—3—0+ +0—3—0 | | Dp | 14 |
| 16 | Szwajcarskich dr. żel. retyckich | — | 1000 | 1—4—0 | | Jp | 12 |
| 17 | Niemieckich dr. żel. kolonialnych | — | 600 | 1—4—1 | | Jp | 12 |
| Beztendrowe. | | | | | | | |
| 18 | Polskich dr. żel. państw. ser. OKi 2 (typ pruski T ₁₂) . . | 1906 | 1435 | 1—3—0 | P r e g r z a n a | Jp | 12 |
| 19 | " " " " ser. OKi 101 (typ saski T ₁₂ ^s) . | — | " | 1—3—1 | | Jp | 12 |
| 20 | " " " " ser. TKt 1 (typ pruski T ₁₄) . . | 1913 | " | 1—4—1 | | Jp | 12 |
| 21 | " " " " ser. TKw 1 (typ pruski T ₁₆) . | 1914 | " | 0—5—0 | | Jp | 12 |
| 22 | Argentyńskich dr. żel. państw. (fabr. Borsig'a) | — | 1000 | 2—4—1 | | Jp | 12 |
| 23 | Polskich dr. żel. państw. (typ pruski T ₃₈) | 1919 | 785 | 0—4—0 | | Jp | 13 |
| 24 | " " " " | 1924 | " | 0—5—0 | | Jp | 13 |
| 25 | Austriackiej dr. żel. Triest-Parenzo | — | 760 | 0—4—1 | | Jp | 13 |

niektórych dróg żelaznych.

| P a r o w o z y | | | | | | | | | | | T e n d r y | | | |
|-----------------|-------------------------------------|------------------------------|--|--|---|--|------------------|-------------------|---------------------|------------------|-------------|------------|--------------|--------------------------|
| Cylindry | | | Średnica kół napędnych <i>D</i> mm | Powierzchnia ogrzewalna | | Powierzchnia rusztów <i>R</i> m ² | C i ęż a r t | | | | Ilość osi | Zapas wody | Zapas paliwa | Ciężar w stanie roboczym |
| Ilość | Średnica <i>d</i> mm | Skok tłoka <i>l</i> mm | | Kotła <i>H</i> ₁ m ² | Prze-grzewacza <i>H</i> ₂ m ² | | W stanie próżnym | W stanie roboczym | na osiach napędnych | Największy na oś | | | | |
| 2 | 550 | 630 | 2,10 | 137,0 | 40,3 | 2,31 | 55,3 | 61,0 | 33,4 | 16,7 | 4 | 21,5 | 7 | 50,8 |
| 2 | 540 | 630 | 1600 | 134,9 | 41,9 | 2,25 | 53,6 | 59,8 | 45,8 | 15,5 | 4 | 16,0 | 5,0 | 42,0 |
| 2 | 575 | 630 | 1750 | 182,1 | 61,6 | 4,00 | 70,8 | 78,9 | 51 | 17,0 | 4 | 21,5 | 7,0 | 51,1 |
| 4 | $\frac{2 \times 400}{2 \times 600}$ | 640 | 1800 | 160,0 | 54,8 | 3,08 | 76,5 | 83,5 | 59,7 | 20,0 | — | — | — | — |
| 2 | 475 | 690 | 1574 | 117,5 | 22,3 | 3,00 | 55,1 | 61,2 | 43,0 | 14,3 | 4 | 21 | 9 | 50 |
| 4 | $\frac{2 \times 390}{2 \times 660}$ | 720 | 2100 | 197,8 | 43,4 | 4,62 | 79,2 | 86,0 | 44,1 | 14,7 | 4 | 21 | 9 | 50 |
| 4 | $\frac{2 \times 420}{2 \times 620}$ | 612 | 1800 | 261,0 | 53,0 | 3,95 | 75,9 | 85,0 | 47,6 | 15,9 | 4 | 20 | 5,5 | 46,8 |
| 2 | 620 | 650 | 1950 | 223,1 | 72,0 | 4,70 | 83,8 | 93,3 | 53,6 | 17,9 | 4 | 22 | 6 | 54,9 |
| 2 | 600 | 660 | 1350 | 144,4 | 51,9 | 2,62 | 61,4 | 67,6 | 67,6 | 17,0 | 3 | 12 | 7 | 35,9 |
| 2 | 533,4 | 711,2 | 1370 | 158,3 | 39,0 | 2,97 | 65,5 | 75,6 | 68,6 | 18,3 | 4 | 20,4 | 7,25 | 50,8 |
| 2 | 615 | 660 | 1350 | 190,1 | 61,9 | 4,20 | 72,5 | 80,0 | 68,0 | 17,0 | 3 | 16 | 7 | 39 |
| 2 | 590 | 632 | 1300 | 150,2 | 26,8 | 3,42 | 62,7 | 69,4 | 69,4 | 14,0 | 3 | 16 | 7 | 39 |
| 2 | 630 | 660 | 1400 | 149,6 | 53,0 | 2,62 | 65,3 | 71,5 | 71,5 | 14,8 | 3 | 16,5 | 7 | 44,7 |
| 2 | 650 | 720 | 1450 | 240,5 | 73,5 | 4,50 | 86,0 | 95,0 | 85,0 | 17,0 | 3 | 21,5 | 7,0 | 50,7 |
| 4 | $\frac{2 \times 420}{2 \times 650}$ | 610 | 1245 | 135,4 | 37,5 | 2,10 | 61,2 | 67,8 | 26,0 | 11,4 | 3 | 12,5 | 3,5 | — |
| 2 | 460 | 580 | 1060 | 105,5 | 27,9 | 2,10 | 42,6 | 47,2 | 41,5 | 10,4 | 2 | 10 | 2,5 | 20,4 |
| 2 | 400 | 450 | 860 | 83,8 | 22,7 | 1,55 | 29,9 | 33,7 | 67,8 | 6,5 | — | 13 | 3,5 | — |
| 2 | 540 | 630 | 1500 | 107,8 | 33,4 | 1,73 | 53,5 | 68,0 | 51,0 | 17,0 | — | 7 | 2,5 | — |
| 2 | 550 | 600 | 1590 | 122,3 | 36,2 | 2,30 | 62,7 | 79,4 | 48,5 | 16,2 | — | 8 | 2,5 | — |
| 2 | 600 | 660 | 1350 | 135,3 | 48,0 | 2,50 | 73,1 | 94,4 | 63,0 | 15,8 | — | 11 | 4 | — |
| 2 | 610 | 660 | 1350 | 132,9 | 45,3 | 2,25 | 63,8 | 80,8 | 80,8 | 16,2 | — | 8 | 3 | — |
| 2 | 520 | 600 | 1200 | 156,7 | — | 2,80 | 62,0 | 80,0 | 54,0 | 13,5 | — | 10,0 | 3,0 | — |
| 2 | 400 | 400 | 820 | 38,9 | 18,8 | 1,04 | 26,0 | 32,0 | 32,0 | 8,0 | — | 3,5 | 1,5 | — |
| 2 | 450 | 400 | 800 | 105,4 | 21,5 | 1,60 | 32 | 42 | 42 | 8,4 | — | 4,2 | 1,65 | — |
| 2 | 330 | 400 | 880 | 40,5 | — | 1,25 | 28,9 | 36,5 | 29,7 | 7,5 | — | 3,0 | 2,0 | — |

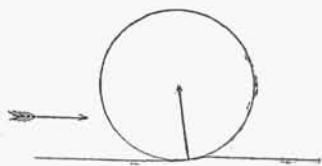
znych przesunięć (wężykowania) zestawów kół, 4) opór od uderzeń wskutek nierówności na powierzchniach tocznych obręczy i szyn, i 5) opór powietrza.

Oprócz tych oporów, będących właściwością całego taboru ruchomego, t. j. zarówno wagonów, jako też parowozów, istnieją jeszcze opory wewnętrzne mechanizmu parowozu, wywołane tarcie ruchomych części silnika oraz tarcie zużytej pary, wychodzącej z cylindrów, 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 tarcia wewnętrznego 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 tarcie, mierzony na obwodzie koła, będzie się równać $\frac{d}{D} f_1 P$, jeżeli d 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 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 naprężenia materiału w punkcie przylegania koła przekraczają granicę sprężystości. Koło, tocząc się, zgniata znajdujące się przed nim cząsteczki materiału szyny, wskutek czego odpór naciskowi koła odchylił się od pionu ku przodowi (rys. 49), dając siłę składową poziomą.



Rys. 49.

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 tarcie, równa się naciskowi koła, pomnożonemu przez pewien współczynnik, zależny od właściwości ciał podległych tarcu i od kształtu ich powierzchni. Niektórzy badacze znajdują, że wężykowanie taboru, a więc i wynikające z niego 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 energii kinetycznej 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, wprowadzonych w ruch płaszczyznami pociągu, prostopadłymi do kierunku ruchu. Jeżeli wielkość tych płaszczyzn oznaczmy przez Ω , to energia kinetyczna, której 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 szybkością $1 m$ na sekundę w kierunku do siebie prostopadłym, wynosi:

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

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

Wiatr, wiejący w kierunku osi pociągu z szybkością 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 i obręczy kół do jednej szyny i tarcie, powstające wskutek tego, 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 $f = 1/6$, a więc:

$$Cf = \lambda f(\omega_1 + n\omega_2)v_2^2 = 0,0204 (\omega_1 + n\omega_2)v_2^2 \dots \dots (17)$$

Silny wiatr posiada szybkość od 5 do 10 m/sec . Szybkość wiatru podczas huraganów dosięga 40 m/sec .

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 drogach żelaznych materiały, posiadające określone i mało zmieniające się własności pod względem tarcia. Wobec tego opory pociągu, niezależne od szybkości, mogą być wyrażone w postaci iloczynu ciężaru taboru przez pewien współczynnik doświadczalny, zależny od ustroju i należytego stanu toru i taboru, wpływających na tarcie między obręczami i szynami, oraz od rodzaju smaru.

Z oporów, zależnych od szybkości ruchu, może być, 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, pod Ω zaś można rozumieć pewną płaszczyznę zastępczą, większą niż rzeczywista, opierającą się powietrzu.

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 tego 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 linji*. Zatem opór pociągu zwiększa się na wzniesieniu o ciężar pociągu, pomnożony przez wielkość pochylenia linji, na spadku zaś zmniejsza się o tęż wielkość.

Opór w łukach znajduje się w złożonej zależności od wzajemnego położenia szyn, zabezpieczającego przejście taboru w łukach, oraz od ustroju spodów taboru, a mianowicie od urządzeń ułatwiających to przejście, o których było mówione wyżej (str. 70 do 72).

Jeżeli będziemy rozpatrywać opór w łukach w przypuszczeniu, że osie taboru pozostają równoległe do siebie i obręcze kół są cylindryczne oraz że szyny są rozstawione w odległości dostatecznej do przejścia taboru i położone obie w jednym poziomie, to opór ten, zbliżony do największego swojego znaczenia, składać się będzie z tarć, wynikających głównie wskutek 1) różnic w długości obu toków, 2) równoleżności osi i 3) siły odśrodkowej.

1) Jeżeli oznaczmy przez R promień łuku, s szerokość toru i f współczynnik tarcia obręczy o szyny, to różnica w długości dróg, które przebiegają oba koła teje osi, mierzona na jednostkę drogi, którą przebiega jedno z kół, wyniesie $s : R$.

Stąd praca tarcia wskutek siły odśrodkowej na jednostkę ruchu postępowego koła czyli dodatkowy opór pociągu od tej przyczyny:

$$c_3 = f \tau \frac{n}{r} = f \frac{v^2}{g R} \sqrt{\frac{2h}{r}} \quad (21)$$

Sumując opory wskutek trzech wymienionych przyczyn, otrzymuje się całkowity opór pociągu wskutek krzywizny linii na jednostkę ciężaru pociągu:

$$c_0 = c_1 + c_2 + c_3 = \frac{f}{R} \left\{ \frac{s}{2} + \frac{b}{2} + \frac{v^2}{g} \sqrt{\frac{2h}{r}} \right\} \quad (22)$$

Jak zobaczymy niżej, opór wskutek działania siły odśrodkowej może być usunięty lub przynajmniej znacznie zmniejszony przez podniesienie szyny zewnętrznej. Wówczas opór wskutek dwóch pozostałych przyczyn wynosić będzie na jednostkę ciężaru pociągu:

$$c = \frac{0,5 f}{R} (s + b) \quad (23)$$

Przy torze normalnym rozstaw b sztywnych osi skrajnych wynosi 4,5 do 7,2 m. Przy torze wąskim promień kół taboru i rozstaw osi bywa odpowiednio mniejszy. Jeżeli przyjąć jako wielkość największą $b = 4 s$ i $f = 1/5$ to

$$c = \frac{0,1 \times 5 s}{R} = \frac{0,5 s}{R} \quad (24)$$

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 pociagową i tą jej częścią, która się wydaturkuje na przewyciężenie oporów pociągu. Pomieniona siła, nadająca pociągowi pewne przyspieszenie, równa się oczywiście bezwładnemu odporowi mas pociągu, będących w ruchu. Dla określenia tego oporu należy brać w rachubę nie tylko ruch postępowy całego pociągu, lecz także i względne ruchy poszczególnych jego części, głównie zaś obracanie się osi wraz z kołami.

Jeżeli m_1 oznacza masę jednego zestawu kół, I i ρ moment i promień bezwładności tegoż zestawu względem osi obrotu, r promień tocznego okręgu koła, to masa zestawu m_0 , sprowadzona do obwodu jego kół, t. j. czyniąca zadość równaniu:

$$I = m_1 \rho^2 = m_0 r^2$$

będzie:

$$m_0 = m_1 \frac{\rho^2}{r^2},$$

zwiększenie zaś bezwładności pociągu wskutek obracania się zestawów kół wyniesie:

$$\gamma \Sigma m_0 = \gamma \Sigma m_1 \frac{\rho^2}{r} = \gamma M_1 \frac{\rho^2}{r^2} \quad (25)$$

W tem równaniu $M_1 = \Sigma m_1$ oznacza masę wszystkich zestawów, γ zaś przyspieszenie postępowego ruchu pociągu. Zatem opór bezwładny T pociągu, poruszającego się z przyspieszeniem γ , 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 6⁰/₀ — 10⁰/₀.

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.

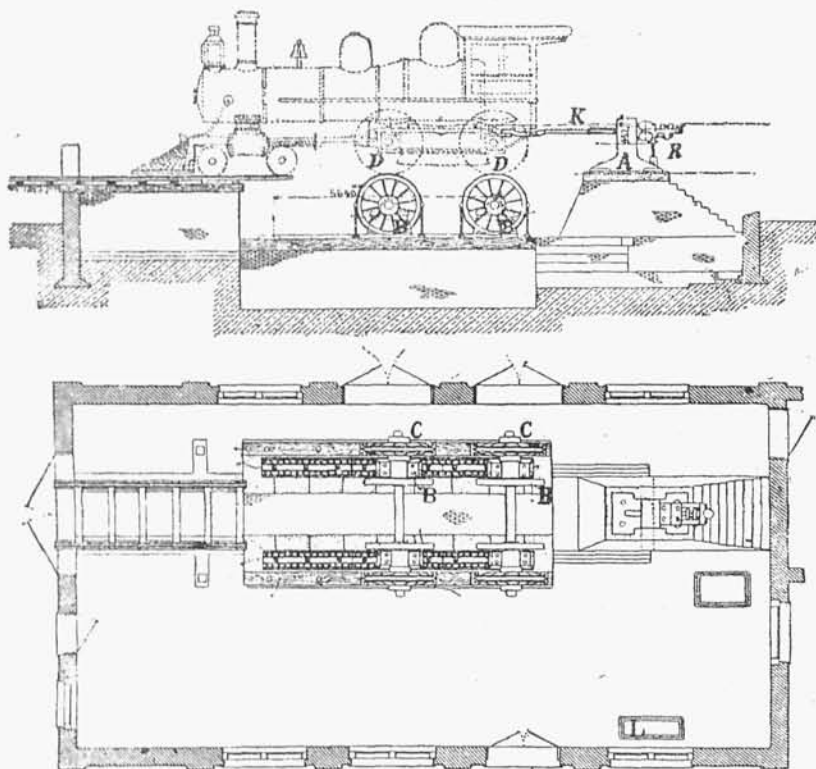
Z tego co powiedziano o sile pociągowej i oporze pociągu wynika, że o ile okoliczności biegu pociągu i przekrój podłużny linii są wiadome, to można określić opór pociągu, znając siłę pociągową, lub odwrotnie, określić tę ostatnią, znając opór pociągu. Z tego powodu sposoby pośredniego i bezpośredniego 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 tłoczną 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