

3. Wyniki doświadczalnego określania oporu pociągów. Wzory Pambour'a, Harding'a, Clark'a, Vuillemin'a, Guebhard'a i Dieudonné'go. Badania Dedouits'a, Nadal'a i Barbier'a. Badania Frank'a i Strahl'a. Badania Goss'a. Badania oporu na łukach. Opór pociągów na kolejach wąskotorowych.

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:

$$W_{kg} = 2,68 Q + 0,005064 \Omega V^2 \quad (31)$$

w którym W_{kg} oznacza opór pociągu na prostej poziomej w kg , Q 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:

$$W_{kg} = 2,72 Q + 0,094 Q V + 0,00484 \Omega V^2 \quad (32)$$

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 potęgze. Kształt wzoru oporu wybierany był przeważnie na zasadzie teoretycznych rozważań, dane zaś doświadczalne służyły do określenia w nim niewiadomych współczynników. Tak np. *Clark*, opierając się na badaniach *Gooch'a* na kolejach angielskich, podaje dla oporu pociągu wzór:

$$W_{kg} = (3,02 + 0,000695 V^2) Q \quad (33)$$

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:

a) dla pociągów osobowych:

$$\left. \begin{array}{l} \text{przy } V = 32 - 50 \text{ km/godz.} \quad W_{kg} = (1,80 + 0,08 V) Q + 0,009 \Omega V^2 \\ \text{„ „ } = 50 - 65 \quad \text{„} \quad W_{kg} = (1,80 + 0,08 V) Q + 0,006 \Omega V^2 \\ \text{„ „ } > 65 \quad \text{„} \quad W_{kg} = (1,80 + 0,14 V) Q + 0,004 \Omega V^2 \end{array} \right\} \quad . (34)$$

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

1) panwie smarowane olejem:

$$W_{kg} = (1,65 + 0,05 V) Q$$

2) panwie smarowane łożem:

$$W_{kg} = (2,30 + 0,05 V) Q$$

. (35)

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

Wzory (34) i (35), wobec dokładności spostrzeżeń, na których zasadzie 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 sprężynowe albo obserwacje średniej szybkości pociągów i przebytej przez nie drogi aż do zupełnego zatrzymania. Przytem typy taboru i ustrój jego spodów 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.

Dedouits określał opór pociągów, będących w ruchu pod wpływem bezwładności, przy zamkniętej przepustnicy, obserwując ich przyspieszenia. Przyspieszenia te *Dedouits* otrzymywał bezpośrednio, przy pomocy wynalezionej przez siebie przyrządu, nazwanego wahadłem dynamometrycznym (*péndule dynamométrique* v. *dynamomètre d'inertie syst. Dedouits*), albo określał je, obserwując przebyte drogi i odpowiadający im czas biegu pociągu przy pomocy chronografu. Wyniki tych spostrzeżeń sprawdzane były przez *Nadal'a* za pomocą indykatora.

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

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

$$w_{kg/t} = 3,8 + 0,66 V \cdot \frac{V + 40}{1000} \quad (36)$$

2) Opór zwykłych wagonów dwuosowych:

$$w_{kg/t} = 1,6 + 0,3 V \cdot \frac{V + 90}{1000} \quad (37a)$$

3) Opór wagonów na wózkach:

$$w_{kg/t} = 1,4 + 0,2 V \cdot \frac{V + 80}{1000} \quad (37b)$$

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.

Rezultaty zbliżone otrzymał *Barbier* ze spostrzeżeń dynamometrycznych na francuskich dr. żel. Północnych.

Według *Barbier'a* opór parowozu z tendrem wynosi:

$$w_{kg/t} = 3,8 + 0,9 V \cdot \frac{V + 30}{1000} \quad (38)$$

opór zaś dwuosowych wagonów osobowych:

$$w_{kg/t} = 1,6 + 0,46 V \cdot \frac{V + 50}{1000} \quad (39)$$

Frank obserwował pociągi biegnące po spadkach i oznaczał szybkości, przy których one, nie zwalniając biegu, mogły być pozostawione pod wyłącznym działaniem siły ciężkości przy zamkniętej przepustnicy. Jeżeli ruch nie był zupełnie jednostajny, obserwowano czas przebiegania odcinków określonej długości i oznaczano pracę oporów z energii kinetycznej (p. wzór 29).

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

$$W_{kg} = (L + Q) \left\{ 2,5 + 0,0142 \left(\frac{V}{10} \right)^2 \right\} + 0,54 (1,1\Omega + 2 + \omega n) \left(\frac{V}{10} \right)^2 \quad (40)$$

W tym wzorze oznacza:

L ciężar parowozu z tendrem w t ,

Q „ wagonów w t ,

n ilość wagonów;

Ω pole rzutu parowozu na płaszczyznę prostopadłą do kierunku jego biegu;

ω urojoną płaszczyznę oporu wagonu, którą Frank podaje jak następuje:

dla każdego wagonu osobowego i krytego towarowego $0,56 \text{ m}^2$

dla każdego wagonu towarowego ładownego. $0,32 \text{ m}^2$

" " " " niekrytego próżnego $1,62 \text{ m}^2$

nadto dla pierwszego wagonu za parowozem (wagonu bagażowego) 2 m^2

Wyraz $0,0142 \left(\frac{V}{10}\right)^2$ oznacza opory wywołane przez uderzenia na powierzchni tocznej kół taboru.

Jak widać z powyższego, wzór Frank'a nie obejmuje wewnętrznych oporów parowozu.

Dla pociągów ściśle oznaczonego składu wzór (40) może otrzymać takiż kształt, jak stary wzór (33) Clark'a. Wobec tego, uczyniwszy pewne przypuszczenia co składowi pociągu, można z wzoru Frank'a otrzymać wzory uproszczone, często stosowane w Niemczech:

$$w_{kg/t} = 2,4 + \frac{V^2}{1000} \quad (41a)$$

albo

$$w_{kg/t} = 2,4 + \frac{V^2}{1300} \quad (41b)$$

Wzory te nazywane są przez podobieństwo wzorami Clark'a.

Na podstawie nowszych badań na Pruskich drogach żelaznych państwowych Strahl uprościł wzór Frank'a i uzupełnił go, wprowadziwszy wartość wewnętrznych oporów parowozu.

Strahl przyjmuje:

1) opór parowozów i tendrów

$$W_{kg} = 2,5 L + a L_n + 0,6 \Omega \frac{V^2}{1000} \quad (42)$$

2) opór wagonów

$$W_{kg} = 2,5 + \frac{V^2}{b} \quad (43)$$

W tych wzorach przyjęto następujące oznaczenia:

L ciężar parowozu i tendra całkowity w t ;

L_n " " na osiach napędnych w t ;

Ω pole rzutu parowozu na płaszczyznę prostopadłą do kierunku jego biegu w m^2 ;

a opór mechanizmu parowozu w kg na t ciężaru na osiach napędnych, który Strahl ocenia w parowozach czterocyndrowych o 2, 3, 4 i 5 osiach napędnych odpowiednio na 3,5, 5, 6 i 7 kg/t , w parowozach zaś dwucylindrowych o 0,2 kg/t mniej niż w czterocyndrowych;



b współczynnik wynoszący:

dla pociągów osobowych pośpiesznych z ciężkich wagonów czteroosio- wych i dla ciężkich pociągów towarowych	4 000
dla zwyczajnych pociągów osobowych	3 000
dla pociągów towarowych pośpiesznych	2 500
" " " o składzie mieszanym	2 000
" " " z wagonami próżnemi	1 000

Na wykresie rys. 57 uwidocznione są krzywe oporu na prostej poziomej dla pociągu towarowego według wzorów Dedouits'a i Nadal'a, Barbier'a, Frank'a i Strahl'a.

Wewnętrzne opory mechanizmu parowozu pod działaniem pary mogą być określone tylko przy pomocy wykresów indykatora. Ciekawe są w tym względzie *wyniki spotrzeżeń*, wykonanych w ostatnich czasach przez Goss'a na stacji doświadczalnej uniwersytetu Purdue (Stany Zjedn. A. P.).

Według tych spostrzeżeń, opór mechanizmu parowozu wraz z oporem toczenia się kół napędnych dał się przewyższać ciśnieniem na tłoki równem 0,27 atm., przytem wielkość jego prawie się nie zmieniała ze zmianą szybkości i napełnienia 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* (por. rys. 52), nad którym były wykonywane spostrzeżenia, na opór ten zużywało się conajmniej:

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

pożytecznego ciśnienia na tłoki. Wynika stąd, że ciśnienie na tłoki, potrzebne do przewyciężenia 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

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

lub nieco mniej. Jeżeli do tego oporu dodać opór parowozu i tendra, jako pojazdu, 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 (39) *Frank'a*.

Opór pociągu, biegnącego po łuku, połączony jest ze zjawiskami jeszcze bardziej złożonemi, niż opór na torze prostym, jak to zaznaczono powyżej na str. 106–108. Wobec tego oraz ze względu na różnaitość ustroju spodów taboru pod względem przesuwności osi i t. p., dane doświadczalne dotyczące tego oporu, które posiadamy, wyrażają go zaledwie w przybliżeniu.

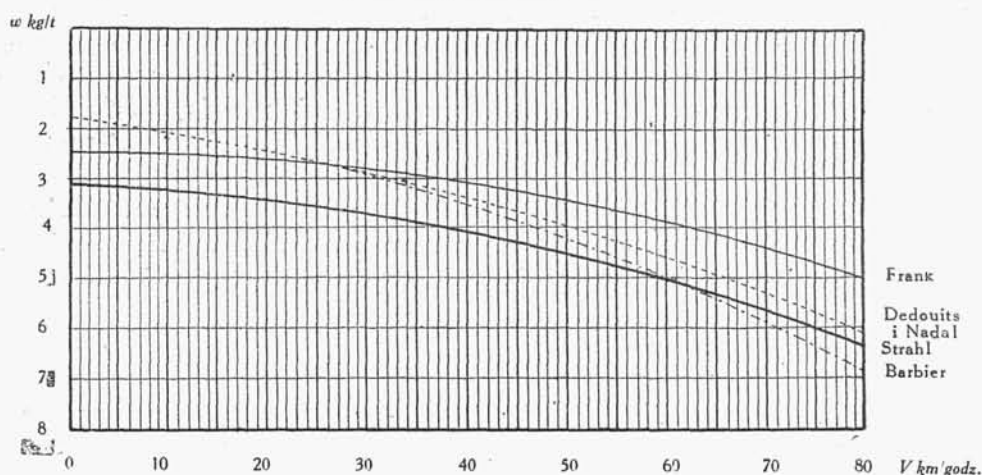
Na zasadzie spostrzeżeń na drogach żelaznych saskich, *Hoffmann* podaje następujący wzór doświadczalny dodatkowego oporu na łukach, wyrażonego w kilogramach na tonnę ciężaru pociągu:

$$c_{kg/t} = 21 \cdot \frac{4b + b^2}{R - 45} \quad (47)$$

W tym wzorze R oznacza promień łuku w m , b długość sztywnej podstawy wagonu w m . Gdy $b = 3,8 m$, wzór (47) daje wyniki prawie równoznaczne z wynikami otrzymanymi z wzoru, wyprowadzonego przez *Röckl'a* na zasadzie spostrzeżeń na drogach żelaznych bawarskich. Wzór *Röckl'a* jest następujący:

$$c_{kg/t} = \frac{650}{R - 55} \quad (48)$$

Wielkości oporu w łukach, otrzymane według tego wzoru, zgadzają się dość dobrze ze spostrzeżeniami innych dróg żelaznych.



Rys. 57.

Wykres oporu w kg/t ciężaru pociągu towarowego, składającego się z parowozu 0-4-0 jednoprzęznego z przegrzewaczem o ciężarze wraz z tendrem $67,9 + 44,5 = 112,4 t$ i z 53 wagonów 15 t średnioładownych.

Opór pociągów na kolejach wąskotorowych nie jest doświadczalnie wyjaśniony. Ze względu na mniejszą średnicę kół i czopów osi, opór toczeniu się koła winien zwiększać się ze zmniejszeniem szerokości toru i również zwiększać się winien opór powietrza, gdyż stosunek powierzchni, od których ten opór zależy, do ciężaru pociągu jest na kolejach wąskotorowych mniej korzystny, niż na kolejach o torze normalnym.

Haarmann przyjmuje następujące wartości oporu pociągów w linii prostej poziomej w kg/t , w zależności od szerokości toru:

Szerokość toru	Opór parowozu	Opór wagonów
1,435 m	$4\sqrt{n} + 0,0020 V^2$	$1,5 + 0,0010 V^2$
1,000 m	$4\sqrt{n} + 0,0025 V^2$	$1,7 + 0,0013 V^2$
0,750 m	$4\sqrt{n} + 0,0030 V^2$	$2,0 + 0,0015 V^2$
0,600 m	$4\sqrt{n} + 0,0035 V^2$	$2,2 + 0,0017 V^2$

W tych wzorach n oznacza ilość osi napędnych parowozu i V szybkość pociągu w km/godz.

Opór pociągów na kolejach wąskotorowych w łukach można przyjąć według wzoru (24) podanego powyżej (patrz str. 108).

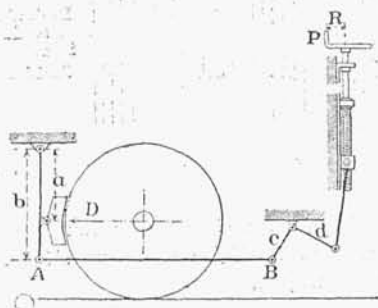
ROZDZIAŁ V.

Hamulce.

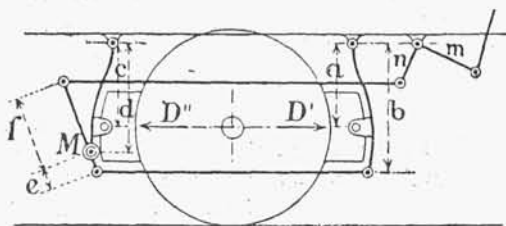
1. Zwolnienie biegu i zatrzymanie pociągu. Hamulce ręczne korbowe i dźwigniowe. Hamulce zespolone mechaniczne, elektryczne i parowe. Hamulce samoczynne. Hamulce powietrzne jednokomorowe i dwukomorowe. Ustrój ogólny hamulców Westinghouse'a i Hardy-Clayton'a. Właściwości hamulców różnych systemów. Zastosowanie hamulców zespolonych w pociągach towarowych.

Stopniowe zwolnienie biegu i zatrzymanie pociągu na linii poziomej lub na nieznacznej pochyłości może być osiągnięte przez zatamowanie dopływu pary do cylindrów, t. j. przez zamknięcie przepustnicy. Jednakże w takich warunkach zatrzymanie 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 powinny być zmiana kierunku



Rys. 58.



Rys. 59.

Hamulce ręczne korbowe.

pary wpuszczonej 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 zapomocą hamulców. Zasadniczą część hamulców stanowią klocki hamulcowe w kształcie odcinków wklęsłych z drzewa, żelaza lanego lub stali, przyciskanych do powierzchni tocznej obręczy z jednej lub z obu stron koła (rys. 58 i 59). Hamowanie zapomocą klina podprowadzanego pod koło, na którym ślizga się ono po szynie, stosowane jest tylko do pojedynczych wagonów podczas manewrów.