

ważą przeciwwaga Q . Strzałka S , przytwierdzona do końca dźwigni D naprzeciwko nieruchomej skali, wskazuje wychylenie dźwigni. Przed przystąpieniem do pomiaru należy układ sprowadzić do równowagi. Na ramie montuje się silnik, wyekwipowany jak do próby (wraz z wodą, smarem ϵ ta). Zdejmuje się ciężar P i dobiera się ciężar B tak, by rama była bliska stanu równowagi obojętnej. Sprawdza się to w następujący sposób: na dźwigni D w odległości 1 m od osi obrotu O umieszcza się ciężarek $g = \frac{1}{200}P$ części ciężaru P , jaki na tem ramieniu musiałby być użyty do zrównoważenia momentu M silnika podczas pracy.

Moment M dla każdego silnika może być łatwo obliczony ze wzoru 66.

Pod wpływem ciężarka g punkt jego przyłączenia na dźwigni D winien opaść co najmniej na 3 cm.

Pomiar mocy przeprowadza się w sposób następujący: na wał silnika nakłada się młyneczek lub śmigło w celu uzyskania odpowiedniego momentu hamującego. W zimie używa się zwykle młynka lub śmigła cisnącego, w lecie można używać śmigła ssącego — dla lepszego' chłodzenia silnika.

Silniki chłodzone powietrzem mogą być próbowane wyłącznie zapomocą śmigła ssącego, w przeciwnym razie wymagają specjalnego chłodzenia. Użycie młynka lub śmigła cisnącego posiada te zalety, że nie wywołuje dodatkowego momentu obrotowego silnika (patrz dalej), oprócz tego nie naraża obsługi na prąd powietrza, co zwłaszcza w zimie jest bardzo przykre.

Młyneczek lub śmigło muszą być tak dobrane, aby silnik uzyskiwał przy całkowitem otwarciu

przepustnicy ilość obrotów (z dokładnością ± 20 obr./min.), podaną przez fabrykę. Moment M mierzy się jako iloczyn wagi ciężaru P i ramienia L . Zwykle jedna z tych wartości jest stałą.

Ilość obrotów *mierzy* się zapomocą obrotomierza.

Moc silnika określa się ze wzoru:

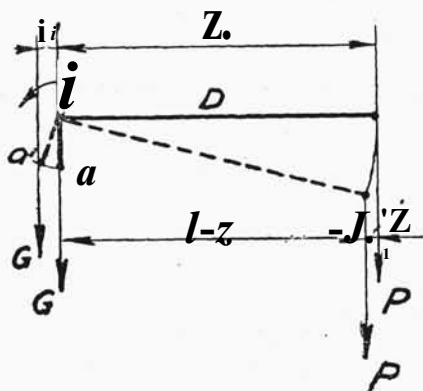
$$N_e = c. P.n \text{ KM lub}$$

$$N_e = c. L. n \text{ KM (patrz wzór 66),}$$

BŁĘDY PRZY POMIARACH MOCY ZAPOMOCA RAMY WAHADŁOWEJ

1. *Błąd wskutek odczytu przy niewłaściwym położeniu dźwigni D.*

Środek ciężkości sztywnego układu: rama, silnik, ciężar B (rys. 36) — leży *poniżej* osi obrotu ramy 0 (warunek równowagi stałej), Niech ten ciężar będzie G i jego punkt zaczepienia „ d ” (rys. 37).



Rys. 37.

Przypuśćmy, że robimy odczyt nie przy poziomem położeniu dźwigni, jakby to należała

zrobić, lecz przy położeniu dźwigni, jak pokazano lin ją kreskowaną. Punkt *a* przesunął się w położenie *a'*. Wobec tego do momentu silnika *M* dodaje się jeszcze moment ciężaru *G*, równy *Gy*.

Oprócz tego długość ramienia, na którym działa siła *F*, zmniejszyła się o wielkość *z* i wynosi: *L — z*. Oba względy powodują, że ciężar *P*, potrzebny do uzyskania równowagi przy dźwigni odchylonej wdół od położenia poziomego, będzie większy, niż przy położeniu poziomem dźwigni, o wielkość

$$\frac{P.zA - G.y}{L - z}$$

Przy odchyleniu dźwigni *D* do góry, moment *G . y* działa w kierunku przeciwnym momentowi *M* i powoduje zmniejszenie ciężaru *P*, skrócenie zaś ramienia *L* powoduje jego powiększenie i w rezultacie ciężar *P*, konieczny dla utrzymania równowagi, wzrośnie o wielkość

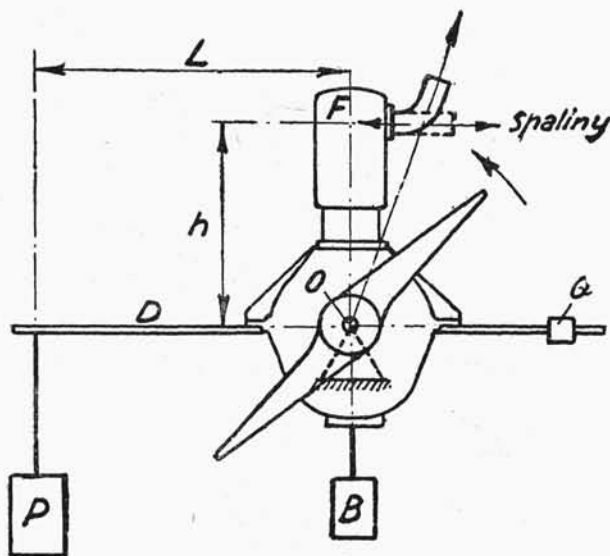
$$\frac{P.z - G.y}{L - z},$$

czyli błąd wypadkowy będzie mniejszy niż podczas pomiaru przy dźwigni odchylonej wdół od położenia poziomego,

Z ostatnich dwóch wzorów wynika, że błąd jest tem mniejszy, im mniejsze jest wychylenie dźwigni *D* od położenia poziomego i im punkt „*a*” leży bliżej punktu 0 (im bardziej czuła jest rama). Przy zachowaniu właściwego odstępu *x* (rys, 36) i sprawdzeniu czułości wagi, jak podano wyżej, największy możliwy błąd nie przekracza 1 %.

2, *Błąd wskutek reakcji spalin, wychodzących z rur wydechowych.*

Jeżeli silnik posiada wydech z jednej strony (silniki jednorzędowe), to wychodzące gazy spalinowe wskutek reakcji F (rys. 38), analogicznej do sił poruszających rakietę, stwarzają moment obrotowy $M' = F \cdot h$. Błąd wynikający stąd może być dość znaczny (dochodzi do 3%). Błąd ten może być dodatni lub ujemny, w zależności od kierunku obrotów silnika i umieszczenia rur wydechowych po tej, czy innej stronie cylindrów.



ss/s//////////

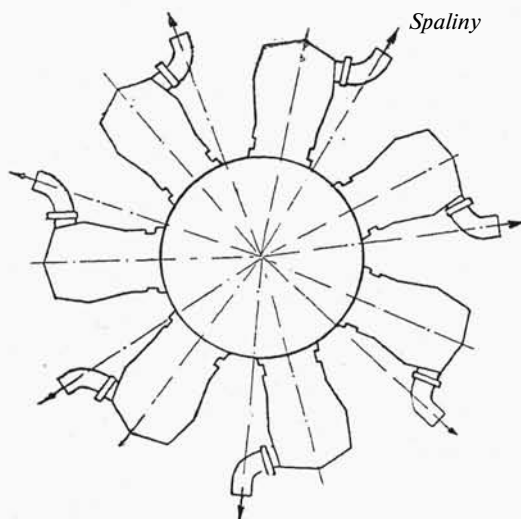
Rys. 38.

Na rys. 38 moment reakcji F będzie powodował zmniejszenie ciężaru P , potrzebnego do uzyskania równowagi. Zapobiega powyższemu stosowanie rur wydechowych, jak pokazano na rys. 38 linią ciągłą. Oś rury w miejscu wylotu przecina oś obrotu ramy wahadłowej, i moment reakcji F jest równy 0.

W silnikach dwurzędowych widlastych, gdzie wydech jest zwykle symetryczny, reakcje F znoszą się wzajemnie i kształt rur wydechowych nie powoduje błędu przy pomiarze mocy.

Silniki trójrzędowe w układzie W mają wydech niesymetryczny i należy przy nich w szeregu środkowym stosować rury wydechowe takie same, jak przy silnikach jednorzędowych,

W silnikach gwiazdowych oś rur wydechowych w miejscu wylotu winna przechodzić przez oś silnika (rys, 39),



Rys. 39.

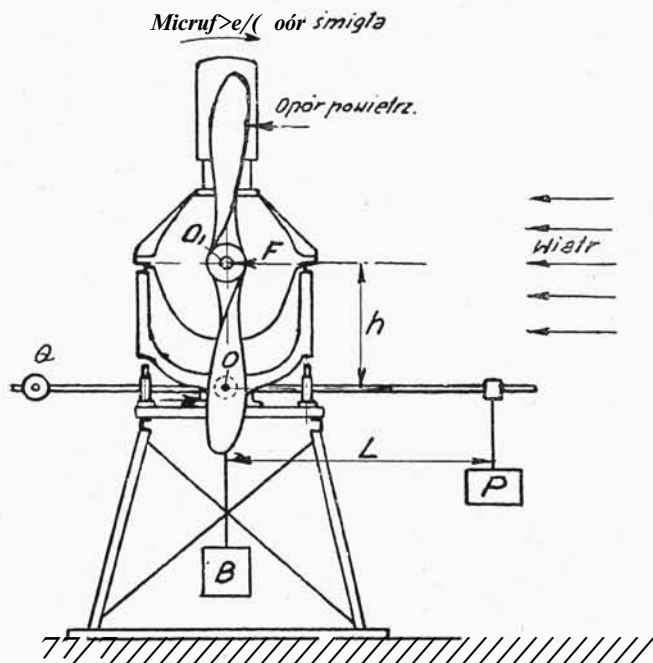
3, *Błąd wskutek mimośrodowości osi obrotu wału silnika i osi wahań ramy.*

Jeżeli oś obrotu wału silnika O_1 nie jest wspólna z osią wahań ramy O (rys, 40), lecz umieszczona jest wyżej w odległości h , to może się zdarzyć, że przy pewnym określonym (jak na rys, 40) położeniu śmigła na oba jego ra-

imiona będzie działać niejednakowy opór powietrza wskutek naprzykład bocznego wiatru na śmigło i ramę.

Przypuśćmy, że wypadkowa siła F , powstająca w tym wypadku, będzie miała kierunek i punkt przyłożenia jak na rys. 40. Powstanie wtedy moment $M' = F \cdot h$, który wywoła konieczność zwiększenia (jak na rys. 40) lub zmniejszenia ciężaru P , potrzebnego do utrzymania równowagi ramy, i w ten sposób spowoduje błąd dodatni lub ujemny przy określaniu mocy silnika.

Przyczyny, wywołujące różnicę w działaniu na oba ramiona śmigła oporu powietrza, mo-



Rys. 40.

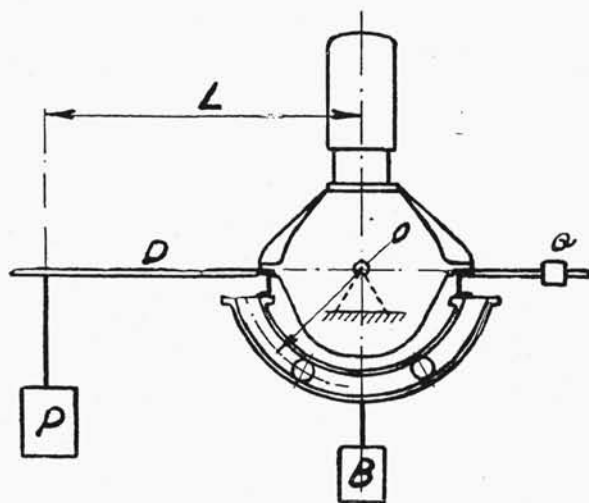
gą być najbardziej różnorodne, naprzykład: wiatr, bliskie sąsiedztwo śmigła ze ścianką lub

ziemią, próba innego silnika, przeprowadzana w pobliżu, kształt ramy wahadłowej, tamujący dopływ powietrza, wiry powietrzne na probier-
ni i t, p.

Przy praktycznie stosowanych odległościach $h = 0,3 \sim 0,4$ m, błąd dochodzić może do 5% mocy.

Unika się tego błędu stosując ramę, której oś obrotu jest wspólna z osią obrotu wału silnika, t, $I h = 0$ (rys. 41).

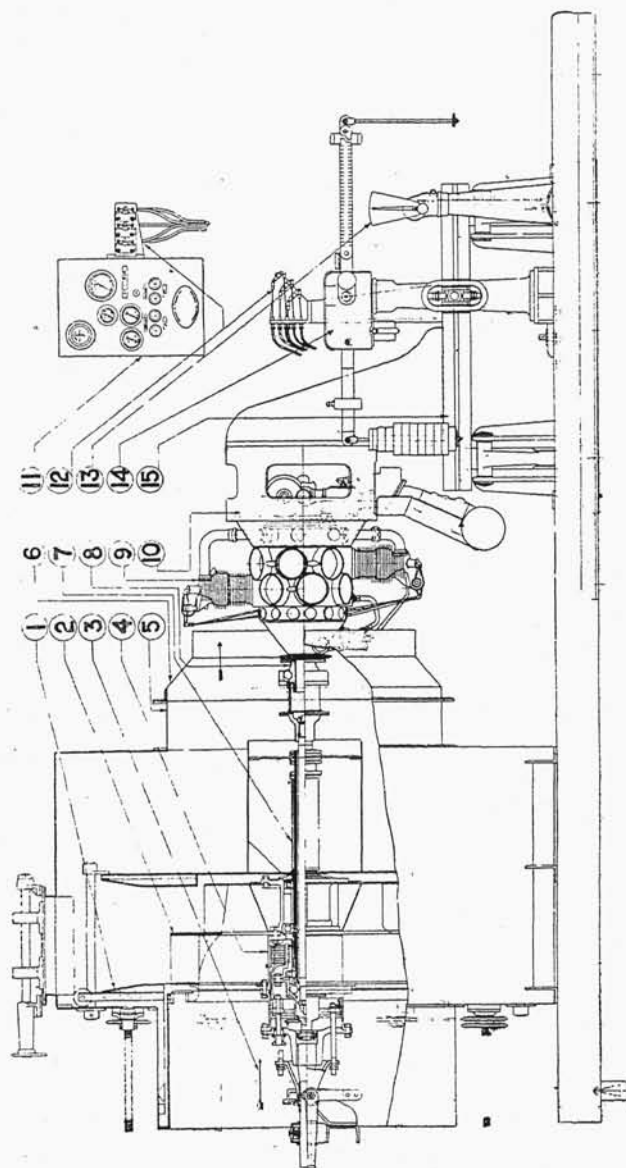
Rama obraca się na rolkach.



Rys. 41.

4. Błąd wskutek prądu powietrza, wywołanego przez śmigło.

Przy obciążeniu silnika śmigłem ssącym — silny strumień powietrza jest rzucany na boczną powierzchnię silnika. Powstaje przytem moment tem większy, im większa jest odległość h i powierzchnia silnika (rys. 36). Błądu można uniknąć, stosując młynki lub śmigła cisnące dla silników chłodzonych wodą.



Rys. 42. Dynamometr powietrzny Heenan — Fell'a. 1. Zasuwa regulująca obciążenie silnika. 2. Wentylator. 3. Dopyw powietrza do wentylatora. 4. Sprzęgło ręczne. 5. Wyprostowywacz strumienia powietrza. 6. Dysza powietrzna. 7. Wał wentylatora. 8. Sprzęgło kulkowe elastyczne. 9. Silnik gwiazdowy chłodzony powietrzem. 10. Tarcza do umocowania silnika. 11. Tablica pomiarowa. 12. Sterowanie silnika. 13. Wskazówka położenia stołu wahadłowego. 14. Przyrząd do dokładnego pomiaru mocy. 15. Stół wahadłowy.

Błąd powyższy jest szczególnie istotny przy pomiarach mocy stałych silników gwiazdowych, chłodzonych powietrzem. Konieczność chłodzenia silnika wymaga stosowania śmigła ssącego, N_p , dla silnika Jupiter 420 KM moment, wytworzony przez prąd powietrza, dochodzi do 17% momentu obrotowego silnika. Przy pomiarach mocy wprowadza się odpowiednią poprawkę, określaną doświadczalnie.

Celem usunięcia powyższego błędu stosuje się do prób silników chłodzonych powietrzem — dynamometr powietrzny „Heenan — Fell'a (rys, 42).

Silnik (9) umocowany jest do tarczy (10), która spoczywa na stole wahadłowym (15).

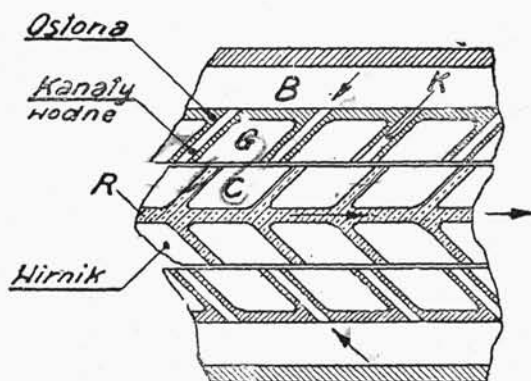
Czop wału silnika łączy się zapomocą kulowego elastycznego sprzęgła (8) z drugim wałem (7), na którym osadzony jest wentylator. Jest on więc napędzany przez silnik lotniczy i stanowi jego obciążenie.

Strumień powietrza, powstający podczas pracy wentylatora, jest wyprostowany zapomocą specjalnych kierownic (5), poczerń wchodzi do dużej dyszy powietrznej (6), gdzie się ostatecznie prostuje i zostaje skierowany prostopadłe do silnika lotniczego i stołu wahadłowego, wobec czego nie powstaje w tym wypadku żaden moment dodatkowy, jakby to miało miejsce podczas pracy silnika ze śmigłem na czopie wału.

Obciążenie silnika reguluje się zapomocą zasuw (1), przykrywającej łopatki wentylatora, a do pomiaru siły P i ramienia L służy precyzyjnie wykonane urządzenie (14), Do uruchomienia dynamometru służy silnik elektryczny,

2. DYNAMOMETR HYDRAULICZNY FROUDE'A

Zasada działania dynamometru Froude'a jest następująca: wirnik *R* jest osadzony na wale *W*, który za pomocą sprzęgła elastycznego jest połączony z wałem silnika i razem z nim obraca się (rys. 43 i 44).



Rys. 43. Przekrój wirnika i osłony dynamometru Froude'a.

Woda wchodzi pod ciśnieniem kilku atmosfer przez rurę *A* (rys. 44 i 45) do przestrzeni *B* (rys. 43) osłony i przez kanały *K* dostaje się do komór *C* wirnika, poczem pod działaniem siły odśrodkowej wirnika, napędzanego przez badany silnik, zostaje z powrotem wyrzucona do komór *G* osłony (podobnych do takichże w wirniku), skąd przechodzi ponownie do komór wirnika *C* i t. d., aż w końcu wychodzi na zewnątrz przez rurę odpływową *E* (rys. 44 i 45).

Osłona jest osadzona na wale wirnika za pomocą specjalnych podstaw, zaopatrzonych w łożyska kulkowe, i może się wahać dokoła osi 0—0 (rys. 44). Wskutek reakcji wody działa na osłonę moment równy momentowi hamu-

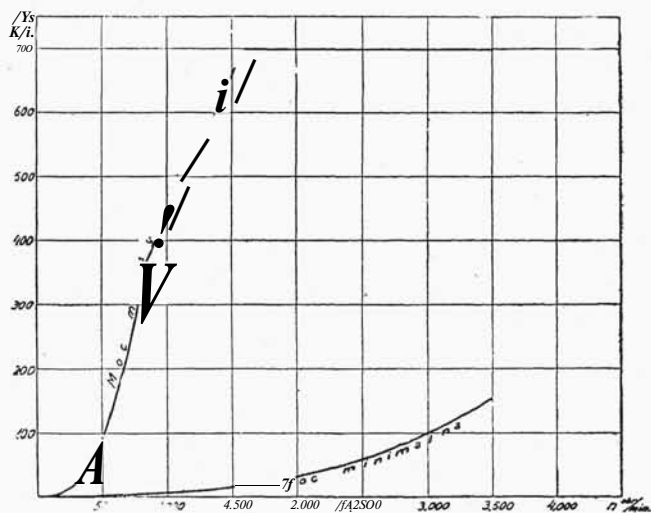
jącemu wirnika i zgodny z nim co do kierunku. Zrównoważać osłonę ciężar P , zawieszony na dźwigni D (rys, 45).

Z chwilą więc ustalenia się liczby obrotów badanego silnika — jego moment obrotowy jest zrównoważony przez:

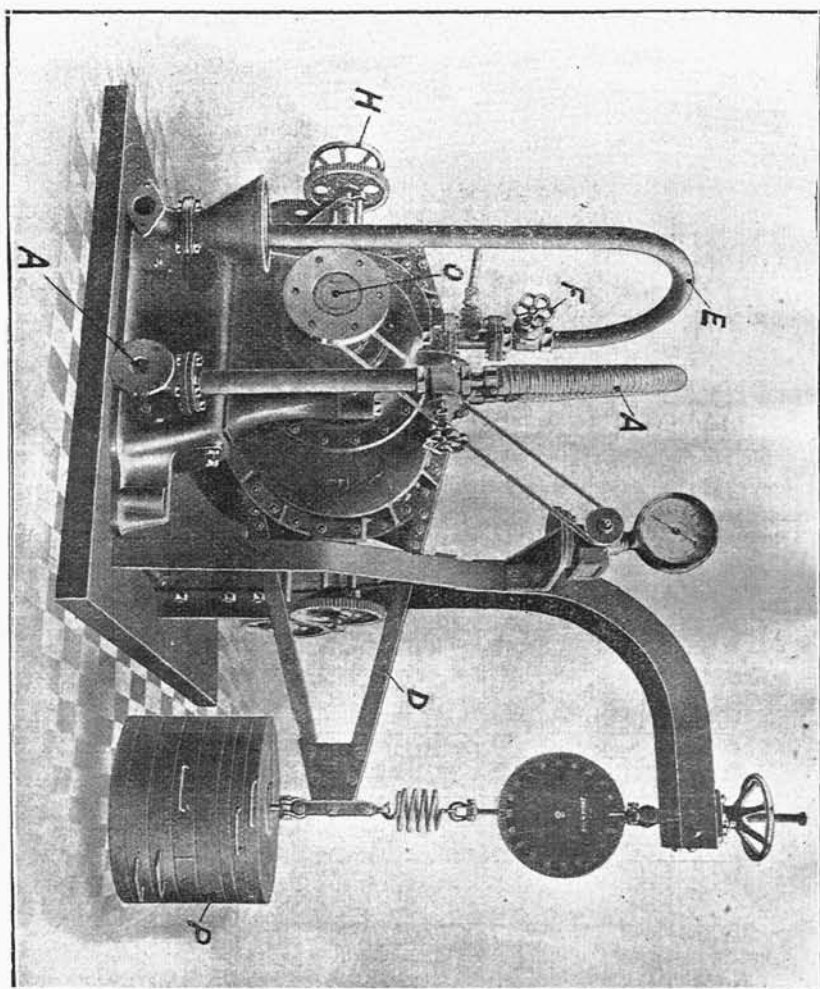
- 1) moment hamujący wirnika,
- 2) moment tarcia wału w łożyskach,
- 3) moment tarcia w dławicach.

Osadzenie osłony na wale wirnika sprawia to, że wszystkie te momenty są zrównoważone przez moment siły P , a zatem dokładność pomiaru nie zależy od tarcia w łożyskach i dławicach.

Wielkość momentu hamującego reguluje się zapomocą koła H (rys. 45) przez podnoszenie lub opuszczanie zasuw Z (rys. 44), która przykrywa większą lub mniejszą liczbę komór. Im więcej komór jest odsłoniętych, tem większy jest moment hamujący wirnika. Moment hamujący



Rys. 46. Krzywe graniczne mocy dynamometru Froude'a typu D. P. X. 5.



Rys. 45. Dynamometr hydrauliczny Froude'a.

może więc być dowolnie zmieniany podczas ruchu silnika i to stanowi jedną z ważniejszych zalet tego urządzenia.

Krzywe graniczne mocy, które można dokładnie zmierzyć na dynamometrze Froude'a typu D. P. X, 5, przedstawia rys. 46.

Ciśnienie wody, doprowadzanej do dynamometru, winno wynosić od 2 do 3 atmosfer. Podczas pomiaru nie może ono ulegać wahaniu, dlatego też zasilanie dynamometru wodą z sieci wodociągowej uważać należy za niedopuszczalne.

Ilość wody, przepływającej przez dynamometr, reguluje się zapomocą kranu F (rys. 45), na przewodzie wylotowym. Powinna ona być tak dobrana, aby temperatura wody, wychodzącej z dynamometru, wynosiła ok. 60°C i w każdym razie nie przekraczała 80°C . Jeżeli przyjąć, że cała ilość pochłanianej energii jest zamieniona na ciepło i odprowadzona z wodą, to (przyjmując temperaturę wody wchodzącej $= 10^{\circ} \text{C}$, wychodzącej $= 80^{\circ} \text{C}$), na każdego KM/godz. potrzeba $\hat{A} = 9,04$ ltr./godz. wody.

Równowartość cieplna 1 KM/godz, $\equiv 632,3$ kal.

Ilość ciepła, potrzebna do nagrzewania wody od 10°C do $80^{\circ} \text{C} = 70$ kalorii.

Jednak zwykle przewody oblicza się na dwukrotnie większą ilość wody, i j. 18 ltr./KM.godz.

Moc silnika oblicza się ze znanego wzoru:

$$N_e = c. P. n \text{ KM}$$

Zależnie od długości L dźwigni D (rys. 45), współczynnikom $\lambda^{\wedge}, \lambda_m^{\wedge}, \lambda_{jm}^{\wedge}$ i λ^{\wedge} jest dla

danego dynamometru stały.

3, DYNAMOMETR ELEKTRYCZNY

Zasada działania dynamometru elektrycznego jest analogiczna jak dla dynamometru hydraulicznego, jedynie czynnik hamujący (woda) jest zastąpiony przez siły elektromagnetyczne,

Z wałem silnika lotniczego połączony jest zapomocą sprzęgła elastycznego — twornik dynamometru (rys. 47). Na osi twornika osadzona jest na łożyskach kulkowych magneśnica. Zrównoważoną magneśnicę ciężar P na dźwigni D . Napięcie prądu wzbudzającego podczas pomiaru musi być możliwie stałe, dlatego z reguły stosuje się wzbudzanie obce, najlepiej zapomocą baterji akumulatorów.

Zmieniając opór obwodu elektromagnesów (wzbudnicy), zmieniamy moment hamujący dynamometru; oczywiście można to wykonywać podczas ruchu silnika.

Przy obracaniu się twornika powstaje w jego uzwojeniu prąd elektryczny, który zostaje zamieniony na ciepło w odpowiedniej opornicy lub może być wykorzystany w sposób użyteczny. Ma to znaczenie w wypadku, gdy duża ilość silników jest próbowana codziennie.

O ile mamy zasilanie twornika z obcego źródła prądu (np. prąd miejski), to dynamometr elektryczny może pracować jako silnik i służyć zarazem do rozruchu próbowanego silnika.

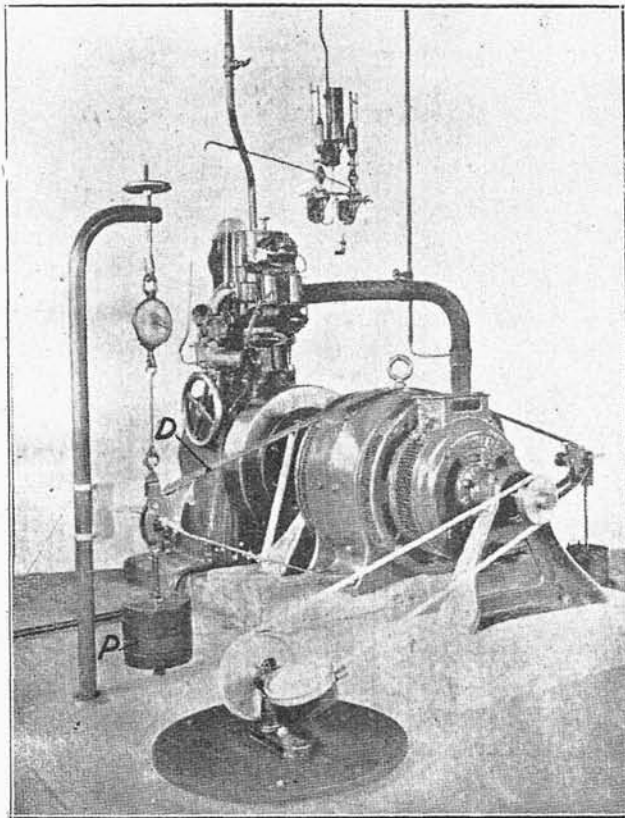
Przy stosowaniu dynamometru elektrycznego należy wystrzegać się raptownego zatrzymywania silnika, gdyż bezwładność twornika jest duża i może nastąpić ukręcenie sprzęgła lub wału silnika.

Obliczenie mocy silnika jest zupełnie podobne, jak przy stosowaniu dynamometru hydraulicznego, t. j. przez wyważenie momentu działającego na ruchomą magneśnicę.

4. DYNAMOMETR — PRĄDNICA

Do pomiaru mocy silnika służyć może napędzana przez niego prądnica, której charakterystyka jest dokładnie znana. Oznaczając przez W moc dawaną przez prądnicę w watach, η_{lei} sprawność użyteczną prądnicy w danych warunkach i N_e — moc próbowanego silnika w KM, otrzymamy zależność:

$$W = 736 \cdot N_e \cdot \eta_{lei}, \text{ czyli } N_e = \frac{W}{736 \cdot \eta_{lei}} - \text{KM.} \quad (70)$$



Rys. 47. Dynamometr elektryczny sprzęgnięty z stoikiem Ricardo.

Wartość r_{pi} musi być znana dla każdej ilości obrotów, W tym celu cechuje się dynamometr — prądnice i wykreśla się krzywą wartości *zależnie* od ilości obrotów i obciążenia. Napięcie prądu w obwodzie wzbudnicy musi być przytem stałe, niezbędne jest więc stosowanie wzbudzania obcego, najlepiej zapomocą baterji akumulatorów.

I tu również należy wystrzegać się raptownego zatrzymania silnika ze względu na dużą bezwładność mas wirujących, i co zatem idzie, możliwość uszkodzeń.

PORÓWNANIE RÓŻNYCH METOD POMIARÓW MOCY

1. *Rama wahadłowa* przedstawia najbardziej rozpowszechniony u nas typ probierni. Główną jej zaletą jest taniość, łatwość wykonania i nieskomplikowana obsługa. Dokładność pomiaru mocy jest wystarczająca dla prób odbiorczych.

Natomiast rama wahadłowa posiada następujące niedogodności: obciążenie silnika uskutecznia się zapomocą młynka lub śmigła, cc wymaga dużo wolnego miejsca, pozatem obciążenie silnika nie może być zmieniane podczas ruchu,

Moc silnika zużywa się tylko na obracanie śmigła lub młynka, a więc zupełnie nie jest wyzyskana.

2, *Dynamometr Froude'a* ma te zalety, że: daje pomiar mocy bardzo dokładny, bieg jego jest cichy i równy, wał silnika pracuje wyłącznie na skręcanie, niema drgań, wywołanych przez złe zrównoważenie młynka lub śmigła, obciążenie silnika daje się bardzo dokładnie regu-

lować w szerokich granicach i podczas ruchu; masy wirujące są małe (nie ma więc obawy skrócenia wału przy nagłym zatrzymaniu silnika). Całość może być zmontowana pod dachem i w stosunkowo niewielkim pomieszczeniu. Natomiast moc silnika jak i poprzednio zostaje stracona. Do uruchomienia całego urządzenia potrzebny jest silnik pomocniczy, najlepiej elektryczny, który automatycznie wyłącza się z chwilą "zaskoczenia" silnika badanego*

3. *Dynamometr elektryczny* jest również dokładny, jak dynamometr hydrauliczny, oprócz tego daje cały szereg dalszych korzyści: odpada kosztowna i kłopotliwa (mrozy), instalacja wodna, obsługa jest prostsza, nie wymaga instalacji rozrusznika (dynamometr służy jako rozrusznik). Dynamometr elektryczny jest w użyciu bardzo dogodny i czysty i pozwala na zużytkowanie mocy próbowanego silnika, co może mieć znaczenie przy codziennych próbach większej ilości silników.

4. *Dynamometr — prądnica* również pozwala wykorzystać moc silników i służyć może jako rozrusznik. Natomiast dokładność pomiaru jest mniejsza i zależy od dokładności przyrządów elektrotechnicznych, jak amperomierz, woltomierz, watomierz, oprócz tego wymaga wycechowania prądnicy i posługiwania się krzywą (sprawności użytecznej), która z biegiem czasu i ze zmianą warunków zewnętrznych (np, zmiany napięcia we wzbudnicy) może ulegać zmianie.

Stosuje się rzadko.

XIV. POMIARY ZUŻYCIA PALIWA

Zużycie paliwa przez silnik lotniczy określa się w gramach na 1 KM_e godz.