Oprócz konstrukcji Rateau, stosowanej przeważnie na kontynencie europejskim, istnieje amerykańskie rozwiązanie Moss'a oparte na podobnej zasadzie, w którego szczegóły konstrukcyjne wchodzić nie będziemy, aby nie wykraczać z ram niniejszej pracy.

Sprężarki, mechanicznie napędzane od wału silnika, mają kilka różnych rozwiązań,, Wiele z nich zapożyczono z dziedziny samochodowej. Napęd odbywa się zapomocą kół zębatych lub przekładni pasowej i zębatej, stosują również przekładnie planetarne. Pomiędzy wałem silnika, a sprężarką umieszcza się sprzęgło wyłączalne, tarciowe lub odśrodkowe, dające elastyczność połączenia. Ponieważ w tym wypadku niezawodność biegu silnika jest znacznie większa niż w systemie Rateau, sprężarki mechanicznie napędzane mają wielu zwolenników, co znalazło swój wyraz w tem, że wytwórnia Rateau zaczęła wyrabiać takie sprężarki o 2-ch stopniach sprężania i 20.000 obr/min,

XII. POMIAR MOCY

Silnik zużywa swą moc na pokonanie oporu powietrza, jaki napotyka obracające się śmigło lub młynek, osadzony na wale silnika.

Oznaczając przez p wypadkową paroia powietrza na każde z ramion śmigła lub młynka (rys. 30), a przez / wzajemną odległość punktów zaczepienia tych sił, otrzymamy, że moment oporowy, jaki ma być pokonany przez silnik, wynosi

$$M = p.l \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (68)$$

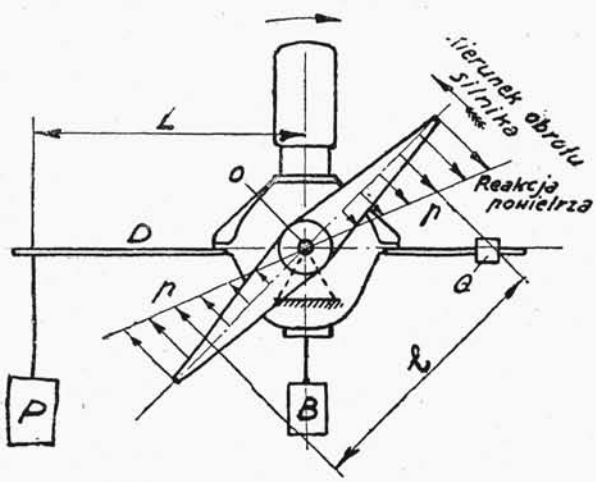
Jeśli przytem wał silnika obraca się ze stałą szybkością kątową co (t. j. przy n = const), to moment na wale silnika w każdej chwili równa się oporowemu momentowi *M,* gdyż inaczej silnik przyśpieszałby lub zwalniał swój bieg. Zatem moc silnika, zużyta na obracanie śmigła lub młynka, wyniesie:

$$N_e = \frac{M\omega}{iD} \text{ KM} \quad . \quad . \quad . \quad . \qquad (6.4)$$

gdzie szybkość kątowa wału silnika

$$\omega = \frac{2 \% n}{60} \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \qquad (65)$$

n — ilość obrotów na minutę wału silnika.



Rys. 30.

t

Moment działający na wale jest wytworzony wskutek parcia gazów na tłoki, co w myśl ogólnie znanego prawa mechaniki (prawo o zachowaniu środka ciężkości układu pod działaniem sił wewnętrznych) daje w wyniku równy, co do absolutnej wielkości, i odwrotny, co do kierunku, moment *M* (rys- 30), usiłujący cylindry wraz z ich karterem obracać w kierunku przeciwnym do biegu silnika. Jest to zjawisko podobne do odrzutu działa podczas strzału lub też znanego z fizyki doświadczenia pod nazwą „koło Segnera".

Ten reakcyjny moment niweczy się nieruchomem zamocowaniem silnika na t. zw, belkach podsilnikowych, lecz daje on znać o swem istnieniu przez wycieranie bocznej ścianki cylindrów na stronie przeciwległej do kierunku obrotów wału (t. zw. owalizacja cylindrów), pochodzące od nacisku tłoków na tę ściankę.

Jeśli jednak silnik zamocujemy w ramie osadzonej obrotowo na osi 0 (rys. 30) tak, iż stanowi ona przedłużenie geometrycznej osi wału, to reakcyjny moment M pocznie przechylać silnik w kierunku strzałki, i dla zachowania równowagi wypadnie na dźwigni D zawiesić ciężar P w takiej odległości L od osi obrotu, by

$$M=pl = PL \quad . \quad . \quad . \quad . \qquad (63a)$$

Podstawiając wartości M i w ze wzorów 63a i 65 do wzoru 64, otrzymamy:

$$M_e = \frac{2\%''.\wedge 1^L}{bO. /o} gg \; 0,0014 \; P. \; L.nKNi \qquad (66)$$

;gdzie P — w kg, L — w metrach.

Pomiar mocy polega zatem na dobraniu i określeniu ciężaru P *i* ramienia L dla zaobserwowanej ilości n obrotów na min.

Zwykle wykonywa się ciężar P (względnie ramię *L),* jako stałe, a mierzy się ramię L (względnie ciężar *P).* W obu wypadkach ramię lub ciężar, wykonane jako stałe, dobiera się tak, by obliczenie mocy było możliwie rachunkowo uproszczone.

Naprzykład, przyjmując we wzorze 66 ciężar P = 143,2 kg, otrzymamy:

$N_e = 0{,}0014 \;.\; 143{,}2 \; L.\,n = 0{,}2 \; L\,.\,n$ KM

Przy l = 1,432 m

/V, $= 0{,}0014.\; 1{,}432.\; P.n =$* $0{,}002 \; P.\,n$ KM

Dynamometr wodny Froude'a typ DPX5 posiada stałe ramię: $L = 0{,}8957$ m,

W, $= 0{,}0014 \;.\; 0{,}8957 \;.\; P.n = 0{,}00125 \;.\; P.n =$

$$\frac{P\,.\,n}{= m^{m}} \quad . \; . \; . \; . \qquad (67)$$

Moc, jaką uzyskujemy przy danych obrotach silnika, zależy od ciśnienia barometrycznego powietrza i jego temperatury. Aby stworzyć możność porównania wyników prób, przeprowadzanych w różnych warunkach, sprowadza się moc rzeczywistą silnika do mocy, jaką osiągnąłby on przy ciśnieniu barometrycznem H — 760 mm słupka rtęci, i temperaturze $t = +\,15°$ C,

Moc tą nazywamy mocą redukowaną do noi~malnego stanu atmosfery, lub krótko—mocą redukowaną. Wzór na określenie mocy redukowanej, przyjęty przez S. T, Aé., jest:

$$N_r = N_e \cdot \frac{760}{H} \cdot \frac{500 + t_p}{515} \quad . \; . \qquad (68)$$

gdzie:

N_r — moc redukowana,

N_e — moc rzeczywista,

H — ciśnienie powietrza w mm słupka rtęci,

t_p — temperatura powietrza w stopniach C,

Oznaczając współczynnik redukcji

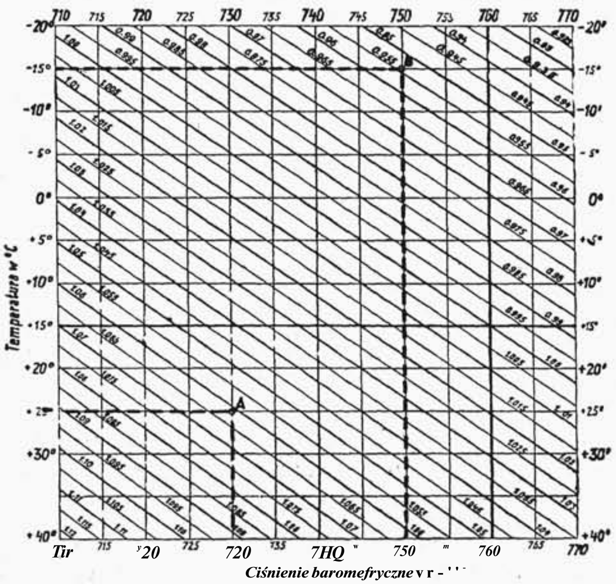
$$K = \frac{760}{H} \cdot \frac{5004\text{-}J\hat{}}{515} \quad . \; . \; . \qquad (W)$$

otrzymamy:

$$N_r = K \;.\; N_e \quad . \; . \; . \; . \qquad (68a)$$

Lin je stałego *K,* obliczone według wzoru 69, podane są na rys.3L

Wykres taki sporządza się w ten sposób, ie zakładając we wzorze 69 wartość na *K* kolejno: 1,0; 1,005; 0,995 i t, d., co 0,005, otrzy* mamy równania linij prostych, które z łatwością dają się wykreślić *przez* wyznaczenie 2-ch punktów, przyjmując naprzykład dowolne *H* (np, 760 mm sł. rt.) i określając odpowiadające mu t_p-



Rys. 31. Redukcja mocy silników lotmczycri do warunków normalnych.

Obliczenie mocy redukowanej silnika wykonuje się jak następuje:

Niech np/pomiar mocy odbywa się przy ciśnieniu 730 mm słupka rtęci i temperaturze 4- 25° C,

Znajdujemy punkt A (rys. 31), którego współrzędne odpowiadają ciśnieniu i temperaturze podczas próby. Najbliższa linja, przechodząca przez ten punkt, jest oznaczona liczbą 1,062, znaczy to, że K = 1,062, a więc N_r = 1,062 N_g.

Przy ciśnieniu H — 750 mm słupka rtęci i temperaturze t = — 15° C, analogicznie znajdujemy punkt B, i najbliższa linja jest oznaczona liczbą 0,954, co znaczy, że K = 0.954, czyli Af_r = 0,954 N_e.

„The American Bureau of Standards" podaje nieco inny wzór na określenie mocy redukowanej, wyznaczony doświadczalnie, mianowicie:

$$N_r = N_e \cdot \frac{760}{H} \cdot \frac{530 + *,}{545}$$

gdzie znaczenia symbolów jak we wzorze poprzednim (wzór 68).

Wzór powyższy jest stosowany w Ameryce i Anglji.

WYKRESY MOCY

Moc, jaką osiąga silnik przy całkowitem otwarciu przepustnicy („pełny gaz") nazywamy „pełną mocą silnika".

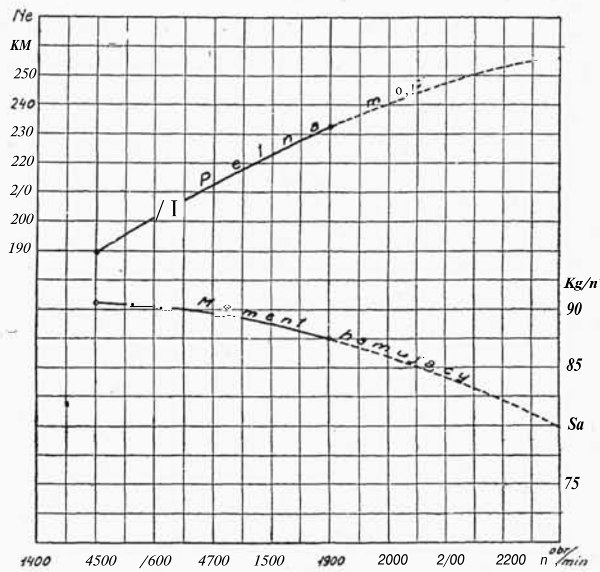
Ilość obrotów na minutę n zależy od momentu hamującego M, którym obciążony jest wał silnika.

Wzajemną zależność M, n i N_e dla silnika Wright — Whirlwind 200 KM, przedstawia rys. 32.

Dla każdego śmigła istnieje swoja najkorzystniejsza ilość obrotów, przy której sprawność zespołu śmigło — silnik osiąga maximum. Zależy to zarówno od śmigła, jak i od silnika, i jest decydującem przy wyborze największej dopuszczalnej ilości obrotów.

Skoro jednak silnik został skonstruowany na te lub inne największe obroty, wytrzymałość samego silnika nie pozwala na znaczniejsze ich przekroczenie bez obawy uszkodzenia.

Dla silnika Wright — Whirlwind 200 KM maksymalna dopuszczalna ilość obrotów *n* max. = 1900 obr. n_{max} min.



Rys. 32. Wykres pełnej mocy *i* mamenitu hamującego sitóka Wrigbt — Whirlwiind! 200 KM.

Z wykresu na rys. 32 widać, że silnik ten osiąga n_{max} = 1900 obr./min, przy M = 87,5 kgm, i wtedy jego pełna moc wynosi N_e = 232 KM.

Gdy obciążymy wał silnika większym momentem hamującym np, M = 90,5 kgm, to największa ilość obrotów, jaką zdoła silnik uzyskać, będzie n = 1500 obr,/min, i pełna moc A/; == 189,6 KM.

Jeżeli naodwrót moment hamujący *M* będzie mniejszy, zwiększą się odpowiednio obroty i pełna moc silnika (na wykresie lin je kreskowane).

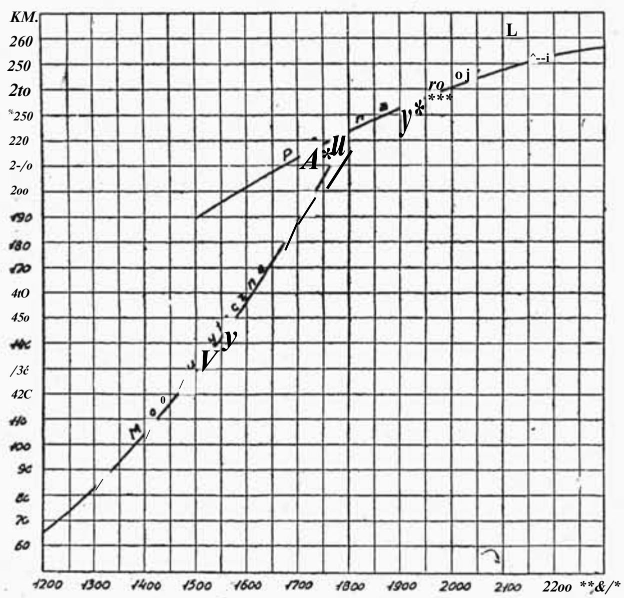
Normalnie obciąża się silnik zapomocą śmigła.

Z poprzedniego jasno wynika, że moment hamujący śmigła musi być tak dobrany, aby silnik przy pełnym gazie osiągnął przepisaną liczbę obrotów na minutę.

Każdy typ silnika wymaga innego śmigła.

Podczas lotu moc silnika reguluje się przez dławienie mieszanki w gaźniku (przymykanie przepustnicy).

Uzyskaną przy tem moc nazywamy „mocą użyteczną".



Rys. 33. Wykresy mocy silnika Wright — Whirlwind 200 KM.

Na rys. 33, podane są wykresy pełnej i użytecznej mocy dla silnika Wright — Whirlwind 200 KM.

Obie te krzywe mocy są podawane i gwarantowane przez fabryki, budujące silniki lotnicze.

Z wzajemnej zależności *M, n* i N_e wynika możność sprawdzenia mocy silnika przy pełnym gazie — zapomocą cechowanego śmigła lub młynka. Śmigło lub młynek wykonywa się tak, że obciążony nim silnik, którego moc przy pełfiym gazie i odpowiadająca jej ilość obrotów na minutę są znane (zmierzone na dokładnej probierni), osiąga przy całkowicie otwartej przepustnicy stałą i przepisaną liczbę obrotów.

Śmigło to cechuje się, zaznaczając na niem moc redukowaną, jaką daje silnik przy danej ilości obrotów na minutę.

Np. znak na cechowanem czteroramiennem śmigle silnika Jupiter: *Ne* — 420 KM, *n* = 1700 obr./min., oznacza, że przy 1700 obrotach na minutę silnik ten daje 420 KM. Jeżeli tak wycechowane śmigło założyć na wał innego silnika, to o ile on przy pełnym gazie osiągnie liczbę obrotów, oznaczoną na śmigle, wtedy i moc tego silnika będzie równą mocy, oznaczonej na śmigle.

Przy pomiarach mocy silnika zapomocą cechowanych śmigieł otrzymuje się moc redukowaną.

BŁĘDY POMIAROWE

Błędy przy określeniu mocy silnika mogą być subjektywne i o tych mówić nie będziemy, nie dadzą się one bowiem ocenić, lub też wynikać mogą z samej metody pomiarów (będą one omawiane przy opisie odnośnych metod), albo też powstają wskutek błędów przy dobieraniu ciężaru *P* oraz mierzeniu ramienia *L i* obrotów *n* (rys, 30), a mają swe źródło w niedokładności przyrządów pomiarowych i niedostatecznej czułości urządzeń- Pomiar mocy zapomocą przeważnej ilości metod opiera się na stosowaniu wzoru:

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

gdzie *c* — jest wielkością stałą, niezależną od pomiaru.

Oznaczmy algebraiczną wartość błędów, popełnionych przy określeniu N_e, *P, L i n* odpowiednio: A7V*, AP, AL i A/z,
wtedy moc obliczona na podstawie tych błędnych pomiarów wyniesie:

$$N_e{}^1 = c \cdot (P + \Delta P)\ (L + AL)\ (n + \Delta n) =$$
$$= c \cdot [(P.I+AAI+AP.I+AP.AL)\ (n+\Delta n)] =$$
$$= c \cdot [P\ L.n + P.\Delta L.n + \Delta P.L.n + \Delta P.\Delta L.n +$$
$$+ P.L\Delta n + P.\Delta L.\Delta n + \Delta P.L.\Delta n + \Delta P.\Delta L.n\Delta]$$

Stąd ogólny błąd stosunkowy pomiaru mocy wyniesie:

$$\frac{\backslash N_e}{N_e} = \frac{N_e^1 - N_e}{N_e} =$$

$$= \frac{P.AL./z+AP.\ L.\ nĄ-AP.\ AL\ \ n+P.L.An-\backslash-\ .\ -\{-P.\ AL.\ An-\backslash-AP.\ L\ .\ An-\backslash-AP.\ AL\ .\ An}{p.L.n} =$$

$$= \frac{\hat{}AL}{L} \text{"•"} \frac{AP}{P} \text{"•"} \frac{AP.AL}{P.L} \hat{}\sim \frac{An}{n} *\sim \frac{ALAn}{L.n} \sim*\sim \frac{AP.An}{P.«} \hat{}\sim$$
$$.\ \frac{AP.AL\ An}{}$$

Ponieważ zwykle przyjmujemy P lub L jako wielkość stałą i dokładnie znaną, a więc nie podlegającą pomiarowi, przyjąć możemy, że odpowiednio *AP* **lub** -ii są równe zeru, a wtedy:

- _ = — - f———'————lub

$$\frac{AN_e}{N_e} \sim \frac{AP}{P} + \frac{An}{n} + \frac{AP.An}{P77T}$$

Pomijając w tych wzorach ostatnie wyrazy jako bardzo małe, otrzymamy, że: ogólny stosunkowy (% -wy} błąd pomiaru równa się algebraicznej sumie stosunkowych (%-wych) błędów poszczególnych odczytów,

Np, wykonywamy pomiar mocy silnika na probierni, dla której wzór na obliczenie mocy niech będzie:

$$Ak = 0{,}002 \; . \; P.n \; \text{KM}$$

z pomiaru otrzymaliśmy:

$$n\text{-}\{\text{-}An{=}l500 \quad \text{obr,/min.}$$

$$p + A\,P = 104{,}5 \;\; \text{kg.}$$

Wobec tego:

$$N_{tf}\, i_{=} \; 0{,}002 \; . \; 104{,}5 \; . \; 1500 = 313{,}55 \;\; \text{KM.}$$

Przypuśćmy, że rzeczywiste obroty silnika. są: 1525 obr,/min,, t, j. błąd wynosi An = — 25 obr./min,, czyli procentowo:

- $\frac{\Delta n}{T}$ - 100 — ils - 100 — ^ ^

Przypuśćmy jeszcze, że rzeczywiście potrzebny ciężar P = 105 kg, i j, błąd wynosi AP = — 0,5 kg, czyli procentowo:

^ . 100 = --§jg-100$_s$——0,48^

Zatem moc rzeczywista będzie:

$$A\hat{}_e = 0{,}002 \; . \; 105 \; . 1525 = 320 \;\; \text{KM.}$$

Błąd pomiaru wynosi:

$$\frac{N_e^1 - N_e}{N_e} \cdot 100 = \frac{313,5 - 320}{320} \cdot 100 = -2.12\%.$$

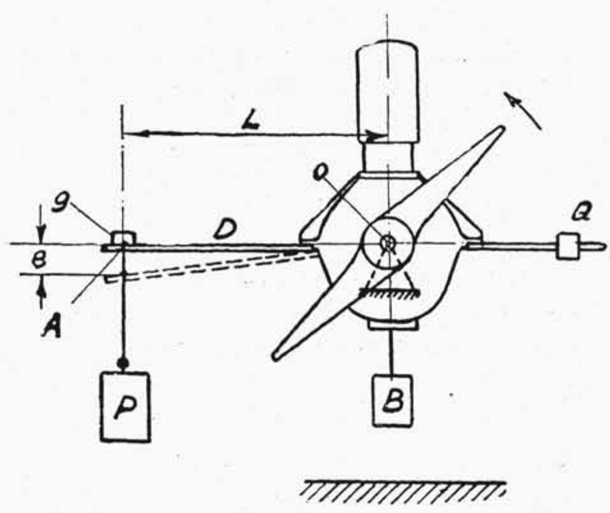
Czyli ogólny %-owy błąd równa się algebraicznej sumie %-owych błędów poszczególnych odczytów, gdyż rzeczywiście:

$$\frac{N_e^1 - N_e}{N_e} \cdot 100 = -2,12\% = -1,64\% + (-0,48\%).$$

Przejdźmy teraz do określenia możliwych największych błędów.

./. *Błąd przy określeniu ciężaru P, gdy ramię L jest stałe.*

Przyczyną popełnianego błędu jest dodatkowy moment, jaki powstaje wskutek tarcia w osi obrotu 0 (rys. 34).



Rys. 34.

Praktycznie wielkość błędu określa się jak następuje:

Po sprowadzeniu środka ciężkości całego układu przy pomocy ciężaru *B* do osi obrotu silnika, zdejmuje się ciężar *P* i zapomocą przeciwciężaru Q zrównoważą cały układ tak, aby dźwignia *D,* odchylona na dół (jak pokazano na irys, 34 lin ją kreskowaną), powracała do położenia poziomego.

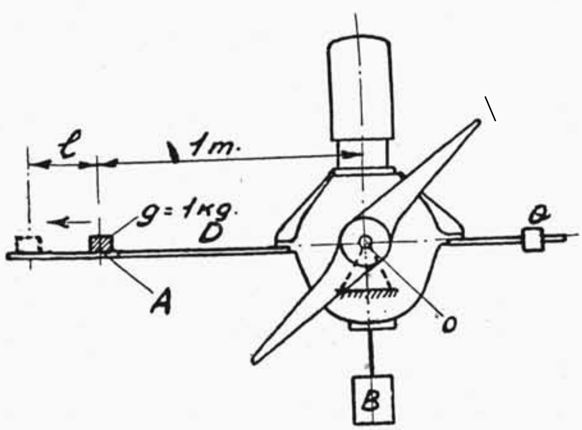
Następnie w punkcie A umieszcza się ciężarek *g.* Wagę jego dobiera się tak, żeby punkt *A* opadł o odległość: *e* ^ 3 cm.

Waga ciężarka *g* stanowi największy możliwy błąd i nie powinna ona przekraczać 0,3% wagi ciężaru *P.*

2. *Błąd przy określeniu długości ramienia L, gdy ciężar P jest stały.*

Przyczyna błędu, jak wyżej,

Wielkość błędu określa się, jak następuje:



Rys. 35.

Na dźwigni D (rys. 35), w odległości 1 m od osi obrotu 0, umieszcza się ciężar g = 1 kg i cały układ zrównoważą się jak wyżej.

Następnie przesuwa się ciężar g po dźwigni D w kierunku strzałki dotąd, aż ciężar ten nie stworzy momentu, pokonywującego tarcie w czopie, a punkt A nie opadnie o oo 2 cm, poczem mierzy się przesunięcie /. Przy zawieszeniu ciężaru P kg (jak to jest podczas pomiaru), moment ten powstanie przy przesunięciu proporcjonalnie mniejszem, Ł j, przy przesunięciu: $\frac{l}{P}$

Stanowi ono największy możliwy błąd przy pomiarze ramienia L.

Wartość $\frac{l}{P}$ nie powinna przekraczać 0,5% L.

Niedokładności odczytów, jak też i wydłużenia dźwigni wskutek nagrzewania, nie uwzględnia się, jako bardzo małego.

3. Błąd przy określeniu ilości n obrotów silnika na minutą.

Ilość obrotów silnika mierzy się zapomocą obrotomierzy.

Tolerancja dla obrotomierzy według przepisów francuskich wynosi 2 %, Obecnie wykonywane obrotomierze są bardziej dokładne.

Ponieważ błąd ogólny wynosi mniej więcej sumę błędów pojedyńczych, więc przy wszystkich pomiarach mocy, opartych na wyważeniu momentu $M = PL$, przechylającego silnik, należy się liczyć z możliwością określenia mocy silnika najwyżej z dokładnością: oo *2%* + 0,5% S 2,5% (P = **const.).**

Ponieważ w wielu wypadkach mamy jeszcze inne źródła błędów, więc błąd ogólny może być jeszcze większy (patrz niżej).