



Napęd elektryczny

nap. prof. M. Pożaryski

(Liczby w nawiasach stanowią odsyłacze do literatury podanej na końcu rozdziału).

I. Napęd jednostkowy i grupowy.

1. *Zalety napędu jednostkowego* — równy bieg, większy stały moment obrotowy, stała szybkość, łatwość i dokładność regulacji szybkości biegu: poszczególnych maszyn lub ich części, skutkiem tego wyższy gatunek wyrobów. Ponadto większa pewność ruchu, mniej wypadków, swoboda ustawiania maszyn, łatwość transportu, dobry dostęp światła.

2. *Cechy napędu grupowego*. Napęd grupowy nieraz wymaga mniejszego nakładu kapitału. Sprawność napędu grupowego, z uwzględnieniem postoju poszczególnych maszyn, oblicza się ze wzoru:

$$\eta = \frac{P_2}{P_1 + p \left(\frac{1}{c} - 1 \right)}$$

P_1 — moc pobierana przez silnik przy jednoczesnym obciążeniu normalnym wszystkich maszyn. P_2 — moc pobierana przez maszyny przy jednoczesnym normalnym obciążeniu wszystkich maszyn. p — moc pobrana przez silnik w czasie biegu luzem pędni, c — współczynnik użytkowania maszyn.

$$c = \frac{t_2}{t_1}$$

t_2 zastępczy czas pracy maszyn, t_1 — czas ruchu w ciągu jednego dnia roboczego. (W warsztatach Siemens'a było $c = 0,56$).

Moc pobrana przez pędnię przy biegu luzem oblicza się ze wzoru:

$$p' = \Sigma L + \Sigma R .$$

L — straty w każdym łożysku według tablicy Schönwalda.

Straty w watach na jedno łożysko samosmarowe (6).

Średnica wałka w cm	Liczba obrotów na minutę						
	100	150	200	250	300	400	500
3	1.6	3.0	4.6	6.5	8.5	13.0	18.0
4	3.9	7.1	11.0	15.5	20.0	31.0	43.5
5	7.6	14.0	21.5	30.0	39.5	60.5	85
6	13.0	24.0	37.0	52	68	105	145
7	21.0	38.0	59.0	82.5	110	165	230
8	31.0	57.0	87.5	125	160	250	350
9	44	81.5	125	175	230	350	500
10	60.5	110	170	240	315	485	680
12	105	190	295	415	545	840	1150

R — straty na jeden pas.

$$R = 10 + b \left(0.75 v + \frac{v^3}{200} \right) \text{ watów}$$

b — szerokość pasa w cm, v — szybkość pasa w m. na sek.

Moc $p = \frac{P'}{\eta_s}$; η_s — sprawność silnika elektrycznego przy tym małym obciążeniu. $P_1 = P_2 + p''$, gdzie p'' — straty mocy w pędni przy pracy (6).

$$p'' = \Sigma L + \Sigma R + 0.033 P_2 .$$

Chcąc obliczyć dokładniej, należy dodawać do strat biegu jałowego dodatkowe straty w pasach po 2,5% mocy przenoszonej przez każdy pas osobno.

Wobec postojów poszczególnych maszyn sprawność napędu grupowego zwykle wypada mniejsza od napędu jednostkowego.

Stosowanie więc napędu grupowego może być usprawiedliwione tylko wtedy, gdy dużo maszyn małych jednakowych pracuje równomiernie bez postojów, oraz gdy maszyny nie były budowane do napędu jednostkowego i jednostkowy napęd kosztowałby znacznie drożej.

II. Ilość obrotów silnika i sprzężenie.

1. *Ilość obrotów na minutę silnika* powinna być wybrana taka, aby przy najprostszym sprzężeniu z maszyną silnik wirował z szybkością normalną najdogodniejszą dla wytwórni silników. Jeżeli maszyna ma szybkość biegu regulowaną, to normalna szybkość silnika powinna odpowiadać najdłuższej i najczęstszej pracy maszyny przy najprostszym sprzężeniu. Jeżeli silnik ma być użyty dla ruchu zwrotnego, często zmieniającego kierunek, to ten silnik jest lepszy, którego energia kinetyczna ruchu jest mniejsza.

2. *Sprzężenie silnika z maszyną.* Przy sprzęganiu silnika należy pamiętać, że dobrze jest gdy wirnik silnika ma grę w łożyskach w kierunku podłużnym — kilka mm, aby mógł ustawić się w położeniu równowagi pod wpływem sił magnetycznych. Poza tem należy pamiętać, że silniki szybkoobrotowe są tańsze od wolnoobrotowych. Rodzaje sprzężenia bywają następujące:

a) B e z p o s r e d n i e osadzenie wirnika silnikowego na wale napędzanym maszyny, b) Sprzęgło sztywne, c) Sprzęgło z grą w kierunku osi, d) Sprzęgło sprzężyste, konieczne gdy ruch maszyny nierówny z uderzeniami. e) P r z e k ł a d n i a z ę b a t a z frezowanymi zębami często zamkniętą w kadłubie, dla niezbyt wielkich mocy przy mocowanym do kadłuba silnika — tak zwany motoreduktor.

Motoreduktory firmy J. John w Łodzi są budowane dwóch typów *).

Typ „M” buduje się dla silników, których $n = 1450$ — 950 — 720, obroty zaś wałka roboczego będą 800 — 700 — 600 — 500 — 400 — 300 — 250 — 200 i 150, stosownie do przekładni.

Typ „PH” buduje się dla silników o tej samej liczbie obrotów i następujących stosunków obrotów wałka roboczego

*) Szczegóły patrz Przegl. El. 1932 r. str. 241.

do obrotów silnika: 1:30 — 1:50 — 1:100 — 1:200 — 1:300 — 1:400 — 1:600 — 1:800 — 1:1000.

Sprawność do 0,98.

f) Przekładnia pasowa. Normalne przekładnie i najmniejsze odległości wałów (11).

Średnica małego koła mm.	Najmn. odległ. wałów w m przy różnych przekł.				
	1:3	1:4	1:5	1:6	1:7
200	2,8	3,0	3,2	3,4	3,6
300	3,2	3,5	3,8	4,3	5,1
400	3,6	4,0	4,6	5,7	6,8
500	4,0	4,5	5,7	7,1	8,6
600	4,4	5,1	6,8	8,6	10,0
700	4,8	5,8	7,9	10,0	—
800	5,2	6,6	9,1	—	—

Przy zastosowaniu naprężaczy używane bywają przekładnie większe: 1:9 do 1:13 i odległości znacznie mniejsze od wyżej podanych.

Sprawność pojedynczej przekładni pasowej z uwzględnieniem strat na tarcie w łożyskach samosmarowych około 0,9. Wielką zaletą przekładni pasowej jest sprężystość, czasem dobra jest również właściwość ograniczenia siły przenoszonej, która nie może być większa od ustalonej przez warunki tarcia. Natomiast zmienność warunków tarcia, a stąd niespodziewany poślizg, jest wadą.

Zamiast pasów często lepsze są motoreduktory wyżej podane z przekładnią zębatą i sprzęgłem sprężystem pomiędzy motoreduktorem a wałem maszyny.

g) Przekładnia tarczowa stosowana jest dla małych mocy i dużych przekładni, małe koło z dobrego materiału dość miękkiego. Pomiedzy koła można kłaść pas skórzany bez końca. Przekładnia do 1:8, sprawność 0,5 do 0,7 — skóra po surowcu (9).

III. Moc silników.

Wyróżniamy trzy rodzaje znamionowania silników w wytwórniach. (Patrz. S. E. P. Przep. Oceny i badania maszyn elek. PNE 23/1932).

a) Moc dla pracy ciągłej silnik winien wytwarzać przy biegu próbnym dowolnie długotrwałym, przyczem

temperatury i przyrosty temperatur nie powinny przekroczyć granic dopuszczalnych. Wszelkie pozostałe przepisy winny być przytem zachowane.

b) Moc dla pracy dorywczej silnik winien wytwarzać przy biegu próbnym, trwającym 15, 30, 45, 60 lub 90 minut, przy zachowaniu warunków, jak w (a).

c) Moc dla pracy przerywanej silnik winien wytwarzać przy biegu próbnym dowolnie długotrwałym, o zupełnie równomiernym rozkładzie czasu włączenia i postoju, przy 15^o/_o, 25^o/_o lub 40^o/_o względnym czasie pracy i grze równej 10 min, przy zachowaniu warunków jak w (a).

1. Wyznaczenie mocy silnika odbywa się na zasadach następujących:

a) Przy pracy ciągłej, która trwa dłużej niż 90 min. bez przerw i większych wahań mocy bierzemy silnik na moc znamionową trwałą równą największej długotrwałej mocy potrzebnej dla napędu maszyny.

b) Silniki pracujące ruchem dorywczym z tak dużymi przerwami, że w przerwie mogą się ochłodzić niemal do temperatury otaczającego powietrza, można wybrać na moc znamionową dorywczą np. na ruch 30 minutowy mogą być czasem wybrane silniki do przesuwnic wagonowych, tarcz obrotowych i t. p. 60 minutowy dla ciężko pracujących dźwigów.

c) Przy pracy z przerwami, dla której gra t. j. czas trwania stałego obciążenia i następującego po nim postoju, nie przekracza 10 minut, wybieramy silnik na moc znamionową przerywaną równą mocy potrzebnej w czasie okresów pracy, dla określonego względnego czasu pracy.

$\gamma = \frac{z \cdot m}{60}$, tu z — czas okresu pracy nieprzerwanej w minutach, m — liczba okresów pracy w ciągu godziny. Zwykle $\gamma = 15^{\circ}/_{o} - 25^{\circ}/_{o} - 40^{\circ}/_{o}$.

Jeżeli wypadają na γ liczby odmienne to korzystamy ze wzoru

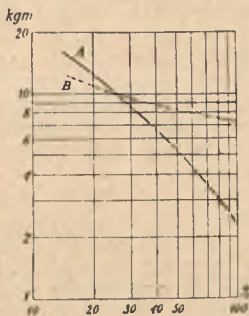
$$P_2 = P_1 \cdot x$$

P_1 , moc silnika przy γ_1 , P_2 moc dopuszczalna dla tego samego silnika przy γ_2 . Spółczynnik x oblicza się ze wzoru:

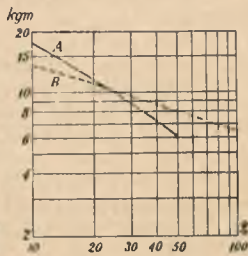
$$x = \sqrt{a \left(\frac{\gamma_1}{\gamma_2} - 1 \right) + \frac{\gamma_1}{\gamma_2}}$$

tu a stosunek strat stałych w silniku do strat proporcjonalnych do kwadratu obciążenia przy obciążeniu normalnem.

Spółczynnik ten dla silników używanych w praktyce bywa od 0,5 do 2 (patrz (4)). Można również korzystać z wykresów wziętych z praktyki, wskazujących względną zmianę dopuszczalnego obciążenia odpowiednio do względnego czasu pracy (5). Dla silników dźwigowych rys. 1 i 2. Wykresy te wskazują średni przebieg zmienności, moment dopuszczalnego dla silników zwykle stosowanych. Liczby na osi momentów mają oczywiście znaczenie wartości względnych.



Rys. 1.



Rys. 2.

Dopuszczalne obciążenie silników dźwigowych w zależności od względnego czasu pracy.

Rys. 1. A — okapturzone silniki prądu stałego,
B — otwarte silniki prądu stałego.

Rys. 2. A — okapturzone silniki trójfazowe,
B — otwarte silniki trójfazowe.

d) Przy pracy dowolnej, z niezbyt długimi przerwami, jednak nie odpowiadającej powyższej regule wypada brać silnik znamionowy na moc ciągłą, obliczając tę moc w koniach mechanicznych ze wzoru

$$P = \frac{n}{716} M_z$$

n — normalna liczba obrotów silnika na minutę. M_z zastępczy moment obrotowy silnika znamionowy obliczony w kgm ze wzoru:

$$M_z = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T M^2 dt}$$

T — okres pracy silnika łącznie z rozruchem i hamowaniem.
 M — moment pokonywany przez silnik w danej chwili.

Całka oblicza się z wykresu zmienności momentu który rozwija silnik przy rozruchu, biegu i hamowaniu.

Powyższy wzór jest słuszny gdy ilość wydzielanego w silniku ciepła jest przynajmniej w przybliżeniu proporcjonalna do kwadratu rozwijanego momentu. Takie założenie w większości przypadków daje wyniki praktycznie dobre.

2. *Moc silników potrzebna do napędu grupowego.* Bierzemy silnik znamionowany na moc ciągłą P obliczoną ze wzoru:

$$P = (p_1 + p_2 + \dots + p_n) \frac{1}{\eta} \cdot b$$

p_1, p_2 i t. d. — moc pobierana przez poszczególne maszyny, η — przeciętna sprawność przekładni (sprawność jednostopniowej pasowej przekładni około 0,9), b — współczynnik jednoczesności pracy maszyn i ich wyzyskania. W warsztatach obróbki żelaza przy silnikach poruszających kilkanaście obrabiarek, zazwyczaj b wynosi około 0,4.

Liczy z praktyki (7) przy 11 maszynach $b = 0,47$ przy 22 maszyn. $b = 0,36$.

3. *Zmiana dopuszczalnego obciążenia silnika skutkiem nienormalnej temperatury otoczenia* (4). Jeżeli silnik jest zbudowany na moc znamionową dla temperatury otoczenia 35° , a ma pracować w otoczeniu o temperaturze t° to jego moc znamionowa zmienia się x -krotnie, gdzie

$$x = \sqrt{1,7 + 0,7 a - 0,02 t (a + 1)}$$

tu a — oznacza dla silnika stosunek strat stałych do strat proporcjonalnych do drugiej potęgi obciążenia przy obciążeniu znamionowym $a = 0,5 \div 2$.

4. *Obliczenie mocy potrzebnej dla niektórych napędów:* (4, 10, 11, 13)

a. Moc potrzebna dla podnoszenia ciężaru:

$$P = \frac{Q v}{75 \eta}$$

P — moc w kon. mech., Q — ciężar w kg., v — szybkość w metrach na sek. $\eta = 0,3$ dla dźwigów osobowych Stiglera, 0,4 dla dźwigów Flohra o małej szybkości, 0,5 dla dźwigów Flohra o dużej szybkości, 0,25 \div 0,4 dla dźwigów ciężarowych, 0,55 — dla suwnic fabrycznych, 0,8 dla suwnic bramiatych i żorawi.

b. Moc potrzebna dla przesunięcia ciężaru Q kg na wózku z szybkością v metr. na sek.

$$P = \frac{(F_1 + F_2) v}{75 \cdot \eta}; \quad F_1 = \frac{r \mu + f}{R} (Q + G)$$

$$F_2 = \frac{Q + G}{g} \cdot \frac{2v}{t}$$

F_1 — opór jazdy, Q — ciężar ładunku w kg, G — waga wózka, $g = 9,81$ metr. na sek.², $\mu = 0,08$ do $0,1$, $f = 0,05$ do $0,08$, t czas rozruchu — 3 do 4 sek. r — promień czopa koła wózka w cm, R promień koła wózka w cm, $r = 0,167$ do $0,1 R$; $\eta = 0,6$ dla wózków, suwnic i żórawi.

c. Moc potrzebna dla napędu pompy.

$$P = 13,4 \frac{VH}{\eta}$$

P — moc w kon. mech., V — ilość wody dostarczanej przez pompę w ciągu jednej sekundy w metrach sześciennych, H — wysokość na którą podnosi pompa wodę w metr. z dodaniem wysokości równoważnej spadkowi ciśnienia w rurach prostych i kolanach, np. przy szybkości przepł. wody 0,97 metr. na sek. i śr. rury 135 mm wysokość tarcia — 0,83 m na 100 m rury.

Tablica oporów w rurach i wzory odpowiednie patrz str. 143 „Mechanik” tom I 1927 r. wydawnictwo TKT”.

Sprawność $\eta = 0,4$ — $0,8$ dla pomp wirowych, zależnie od wielkości, $\eta_1 = 0,8$ — $0,85$ dla pomp tłokowych bez uwzględnienia przekładni wału wykorbionego.

d. Moc potrzebna dla napędu wentylatorów (10) oblicza się ze wzoru:

$$P = \frac{VH}{75 \eta}$$

P — moc w kon. mech., V — objętość przepędzanego powietrza w m³ na sek., H — wysokość słupa wody w mm, wyrażająca nadciśnienie lub rozrzedzenie wytwarzane przez wentylator.

Dla małych wentylatorów $\eta = 0,3$: $0,5$ a dla dużych od $\eta = 0,4$: $0,8$. dla kopalnianych najczęściej $0,6$: $0,7$.

Przy obliczaniu mocy potrzebnej dla napędzania wentylatorów kopalnianych wysokość H oblicza się ze wzoru:

$$H = \left(\frac{0,38 V}{a} \right)^2$$

a — równoważny przekrój dróg wentylacyjnych w m^2 , wogóle $a = 1 \div 4 m^2$, w Polsce zwykle $a = 3 m^2$.

Ze względu na pewne straty manometryczne w wentylatorze, do mocy obliczonej z powyższego wzoru dodaje się $10 \div 15\%$. Moc napędowa wentylatora rośnie proporcjonalnie do trzeciej potęgi szybkości wirowania.

5. *Moc potrzebna dla napędu różnych maszyn.* (4, 7, 8, 10, 11). Obrabiarki do żelaza. Tokarnie zwykle, przy wysokości kłów 170—310 i rozstawie kłów $760 \div 3500$ mm, wymagają mocy $1 \div 5$ KM.

Tokarnie tarczowe przy śr. tarczy $900 \div 4000$ mm i największej śred. toczonego przedmiotu $1200 \div 5400$ mm — $2 \div 10$ k M.

Rewolwerówki przy wysokości kłów 135—260 mm i najw. średnicy przedmiotu $280 \div 520$ mm — $1 \div 3$ KM.

Frezarki przy długości stołu 550—1500 mm i szerokości $125 \div 375$ mm — $0,5 \div 3,5$ KM.

Frezarki do kół zębatach przy najw. śred. koła 550—2000 mm i szerokości $260 \div 330$ mm — $1,5 \div 5,0$ KM.

Wiertarki dla śred. otworu $22 \div 76$ mm i przesuwie wrzeczona $250 \div 400$ mm — $1,5 \div 3$ KM. Ręczne wiertarki małe — kilka dziesiątych KM.

Heblarka przy długości stołu 4000 mm i szerokości heblowania 1500 mm — 10 KM.

Piły tnące na zimno — 1 do 8 KM.

Nożyce — $1,3 \div 7$ KM.

Szlifierki — $0,7 \div 3$ KM.

Obrabiarki do drzewa. Heblarki z jednym układem noży przy szerokości heblowania $300 \div 1000$ mm i grubości $190 \div 180$ mm — $4 \div 9$ KM.

Piły tarczowe przy średnicy tarczy $600 \div 1200$ mm — $5 \div 14$ KM.

Piły taśmowe przy średnicy kół $800 \div 1000$ mm i największej grubości cięcia $420 \div 570$ mm — $4 \div 5$ KM.

Tokarnie przy wysokości kłów $200 \div 300$ mm i rozstawie 2000 mm — $1,5 \div 2$ KM.

Maszyny rolnicze. Młocarnie przy wydajności od 700 do 1400 kg na godzinę — $8 \div 18$ KM.

Srutownik — $2 \div 5$ KM.

Sieczkarnia — $2 \div 6$ KM.

Maszyny drukarskie. Prosta prasa drukarska — $1 \div 2$ KM.

Prasa drukarska gazetowa — $2 \div 4$ KM.

Maszyna drukarska rotacyjna mała — $6 \div 8$ KM.

Maszyna drukarska rotacyjna duża — $12 \div 25$ KM.

Bardzo wielkie maszyny rotacyjne z wielosilnikowym napędem — do 270 KM i więcej.

Wentylatory. Do przewietrzania lokali.

Ilość pow. w m ³ na min.	7—10	12—15	15—20	20—30	30—40	45—60	65—80	90—120	120—160
Moc w KM	0.06	0.12	0.25	0.5	1	1.5	2.5	4	6

Gdy wentylator przedmucha powietrze przez kanał wentylacyjny, to brać wentylator o 15—30% większy.

Wentylator do kuźni dla 3 ogni przy śr. dyszy 30 mm — 0,25 KM, dla 6 ogni — 0,75 KM i dla 15 ogni — 2,2 KM.

Małe przewietrzniki pokojowe biorą 40 do 60 watów przy średnicy obwodu skrzydeł 250—300 mm.

Wózki firmy „Bezel”. (12). Budują się na nośność 750 ÷ 1000 i 1500 kg. Największy wózek ma dwa silniki po 0,65 kW. Dwie baterje akumulatorów ołowianych po 40 V i 70—160 Ah. Szybkość biegu wózka 3 ÷ 11 km na godzinę, największe wzniesienie drogi, które pokonywa obciążony — 70‰.

Napędy w cukrowniach. Patrz obszerną książkę Stanisława Śliwińskiego (13).

Różne maszyny. Magiel — 1 ÷ 1,5 KM; maszyny do szycia — 0,1 ÷ 0,33 KM; ceglarki — 6 ÷ 20 KM.

IV. Moment obrotowy silnika.

1. *Silnik musi dawać moment obrotowy potrzebny dla napędu maszyny we wszystkich okolicznościach* (4).

W biegu jednostajnym moment obrotowy obliczyć można na podstawie mocy potrzebnej dla napędu maszyny i liczby obrotów silnika na minutę ze wzoru

$$M_1 = 716 \frac{P}{n}$$

P — konie mechaniczne, n — liczba obrotów na min. i M_1 — moment w kgm.

Przy rozruchu maszyny należy uwzględnić przyśpieszenie wirujących mas i przyśpieszony ruch postępowy mas sprzężonych z wirującym wałem maszyny.

a) Moment przy stałym przyśpieszeniu (prostoliniowy, wykres szybkości), moment wywołujący przyśpieszenie — stały, wtedy moment potrzebny dla wywołania odpowiedniego przyśpieszenia w kgm wynosi:

$$M_2 = \frac{GD^2}{375} \frac{n}{t}$$

GD^2 — moment zamachowy wirujących mas w kgm² wprowadzony na wał silnika, n — ustalona liczba obrotów silnika na minutę po upływie t sekund rozruchu.

Gdy maszyna zawiera szereg mas sprzężonych wirujących z różnemi szybkościami i ruch jest przyśpieszony, to wyższy moment zamachowy oblicza się ze wzoru:

$$GD^2 = \Sigma \frac{[GD^2]_k \cdot n_k^2}{n^2 \cdot \gamma_{jk}}$$

Jeżeli ruch jest zwalniający:

$$GD^2 = \Sigma \frac{[GD^2]_k \cdot n_k^2}{n^2} \cdot \gamma_{jk}$$

tu n_k — ustalona liczba obrotów wału, na którym mamy moment zamachowy $(GD^2)_k$; n — taka sama liczba obrotów silnika, γ_{jk} współczynnik sprawności przekładni od wału k do wału silnika.

Przy ruchu zwalniającym silnik powinien dać moment hamujący ruch.

Moment potrzebny dla przyśpieszenia mas o ruchu postępowym, sprzężonych z silnikiem obliczymy ze wzoru:

$$M_3 = 0,975 \frac{Q v^2}{n t \gamma}$$

Q — ciężar w kg, v szybkość końcowa w metrach na sek. n — końcowa liczba obrotów wału silnika na minutę, M_3 — moment obrotowy silnika w kgm, γ — sprawność przekładni.

b) Rozruch przy przyśpieszeniu malejącem proporcjonalnie do czasu (paraboliczny wykres szybkości — moment obrotowy również jednostajnie maleje). Po upływie czasu rozruchu przyśpieszenie i odpowiedni moment stają

się równe zeru, wtedy momenty początkowe potrzebne dla przyśpieszenia mas obliczają się ze wzorów:

$$M_2' = 2 M_2 \quad \text{i} \quad M_3' = 2 M_3$$

gdzie M_2 i M_3 obliczono według wzorów podanych poprzednio.

Dane co do czasu rozruchu patrz str. 487.

2. *Koło zamachowe* (1) (2) bywa stosowane przy napędach maszyn mających znaczne skoki momentu obciążenia w celu zmniejszenia momentów obrotowych silnika i złagodzenia skoków prądu. (np. walcarki, układy przetwornic Leonarda do maszyn wyciągowych na kopalniach it. p.).

Maszyna napędzana pracuje z pauzami, w ciągu których koło zamachowe, wirujące ruchem przyśpieszonym, pobiera energię z silnika. Przy zmniejszaniu się szybkości wirowania, zwykle o 15 do 20%, koło zamachowe energię oddaje. Jako silniki napędowe tu stosują się silniki bocznikowo-szeregowe prądu stałego z małą liczbą zwojów szeregowych lub asynchroniczne trójfazowe.

Wzory, według których dobiera się odpowiednie koło zamachowe i wyznacza się przebieg zmian momentu obrotowego silnika przy momencie obciążenia stałym, są następujące:

$$M_1 = M - (M - M') \cdot e^{-kt}$$

$$M_2 = M_0 + (M'' - M_0) \cdot e^{-kt}$$

$$k = 375 \frac{M_n}{S_n \cdot n \cdot G D^2}$$

GD^2 — moment zamachowy w kgm^2 wirujących mas sprowadzony do wału silnika.

n — początkowa największa szybkość wirowania silnika, gdy koło zamachowe ma maksymalną energię kinetyczną.

$S_n = \frac{n - n_n}{n}$, gdzie n_n — liczba obrotów silnika przy normalnym obciążeniu.

M_n — moment obrotowy silnika przy obciążeniu normalnym (pełne, znamionowe) w kgm .

M — stały moment obciążenia wywołany maszyną napędzaną w kgm .

M' — moment silnika na końcu pauzy i na początku okresu pracy maszyny napędzanej w kgm .

M'' — moment silnika na końcu okresu pracy i na początku pauzy w kgm .

M_0 — moment silnika przy jałowym biegu jednostajnym całego zespołu w kgm .

M_1 — moment silnika w chwili t w czasie pracy maszyny napędzanej w kgm.

M_2 — moment silnika w chwili t w czasie paury w kgm.

e — zasada naturalnych logarytmów = 2,71828.

Energja kinetyczna koła zamachowego wynosi:

$$W = \frac{GD^2 n^2}{7200}$$

GD^2 — moment zamachowy w kgm²,

n — liczba obrotów na minutę,

W — energja w kgm.

V. Rozruch i regulacja biegu silników.*)

1. Czas rozruchu niektórych maszyn i potrzebny moment rozruchowy (4). Wyróżniamy rozruch lekki gdy $\frac{M_r}{M_n} = 0,6 \div 1$

rozruch średni — $\frac{M_r}{M_n} = 1 \div 2$ i rozruch ciężki gdy $\frac{M_r}{M_n} = 2$ do 3.

Gdzie M_r — moment rozruchowy, M_n — moment normalny silnika.

M a s z y n a	Moment rozruchowy w stosunku do momentu normalnego	Czas rozruchu w sek.
Pędnie lekkie	0,75—1,25	5—15
„ ciężkie	1,25—2	10—45
Wentylatory	0,6—1	2—15
Pompy wirowe do $n = 1500$. . .	0,75—1,25	2—15
„ „ ponad 1500	1—1,5	5—25
Pompy tłokowe rozr. bez przeciwcisnienia	0,6—1,25	5—20
Pompy tłokowe rozr. z przeciwcisnieniem	1,5—2	5—20
Transportery	1,25—1,75	10—20
Nożyce z koł. zamach	1,75—2	15—60
Wirówki	1,75—2—3	20—300

*) Patrz również str. 141—146, 222, 241—245.

2. *Energja pochłonięta przez rozrusznik w ciągu godziny.* (4).

$$W = \frac{P_r t h}{2}$$

P_r — moc pobrana z sieci przez silnik w końcu rozruchu w kW (przyśpieszenie jednostajne).

t — czas rozruchu w godzinach.

h — liczba rozruchów na godzinę.

W — energja w kWh.

Energja ta nie może być większa od przewidzianej przy budowie rozrusznika.

Z powyższego wzoru można przekonać się czy dany rozrusznik zbudowany dla danych warunków pracy może być zastosowany do innych podobnych.

3. *Rozruch samoczynny* (7, 8, 9). Obecnie stosuje się głównie rozruch przyciskowy, dla małych maszyn niezależny od biegu silnika, dla większych uzależniony od stopniowego wzrostu szybkości silnika.

4. *Regulacja szybkości biegu maszyn.* a. Za pomocą zmiany przekładni (obecnie unikamy takiej regulacji w miarę możliwości).

b. Za pomocą regulacji biegu silnika (najlepszy sposób).

c. Częściowo za pomocą zmiany przekładni, a częściowo za pomocą zmiany szybkości wirowania silnika.

Przy takiej regulacji podwójnej, bez skoków szybkości, gdy n_1 i n_2 najniższa i najwyższa liczba obrotów maszyny,

$$\frac{n_2}{n_1} = A^p$$

tu A — współczynnik regulacji elektrycznej, p — liczba stopni przekładni mechanicznej.

Przy regulacji z przerwami, w tych przerwach mamy skok obrotów k .

$$\frac{n_2}{n_1} = A^p \cdot k^{p-1}; \quad \text{tu } k = \frac{n''}{n'}$$

5. *Regulacja biegu silnika przy napędzie prądem stałym.* Przy zastosowaniu silników boczniowych.

a. Obniżenie obrotów opornikiem 25—50%. Znaczne straty energii.

b. Podwyższenie obrotów opornikiem w boczniku przy silnikach zwykłych o 15%. Silniki specjalne — 1 : 1,5, 1 : 2; 1 : 3 i więcej.

c. Regulacja szeroka i ciągła — za pomocą przetwornic Leonarda, lub przeciw napięcia.

d. Regulacja szeroka skokami — zasilaniem twornika z sieci wieloprzewodowej.

Przy zastosowaniu silników szeregowych.

a. Obniżenie obrotów opornikiem szeregowym. Znaczne straty energii.

b. Podwyższenie obrotów bocznikowaniem cewek elektromagnesowych.

c. Podwyższenie obrotów przez podział i równoległe połączenie poszczególnych części cewek elektromagnesów.

d. Regulacja zmianą napięcia na silniku przez szeregowo lub równoległe połączenie kilku silników napędzających tę samą maszynę.

6. *Regulacja napędu przy prądzie zmiennym.* Przy napędzie silnikami asynchronicznymi:

a. Regulacja szybkości biegu w dół opornikami w wirniku 25–50%. Znaczne straty energii.

b. Regulacja w dół opornikiem lub dławikiem w stojanie.

c. Regulacja przez przełączanie z gwiazdy na trójkąt.

d. Regulacja skokami przez przełączanie uzwojenia stojana na różną liczbę biegunów np. 4 : 3 : 2.

e. Regulacja przez zmianę częstotliwości prądu zasilającego silnik np. 40 : 50 : 55 : 75 : 100 : 150. Ważne dla obrabiarek do drzewa i maszyn włókienniczych.

f. Regulacja przez kaskadowe połączenie dwóch silników.

g. Maszyna ma dwa silniki: jeden duży na szybki bieg normalny, drugi mały na bieg wolny.

h. Obce wzbudzenie pola silnika za pomocą pomocniczej maszyny kolektorowej. Regulacja ciągła w znacznych granicach, urządzenie skomplikowane.

Przy napędzie silnikami komutatorowymi regulacja może odbywać się przesuwaniem szczotek.

Zastosowanie przetwornicy Leonarda zapewnia regulację najdogodniejszą w szerokich granicach. Urządzenie jednak jest skomplikowane.

BIBLIOGRAFJA.

1. Inż. J. Obrąpalski. Maszyny wyciągowe elektryczne.
 2. " " Elektryczny napęd walcarek.
 3. Inż. G. Sokolnicki. Elektryczny napęd obrabiarek do metali.
 4. Dip. Ing. W. Lehmann. Die elektrotechnik u. die elektromotorische Antriebe. 1922 r. str. 451.
 5. Elek. techn. Verein des Rheinischwestfälischen Ind. Bezirkes zu Dortmund E.V. Die technische Entwicklung der Motoren und ihre Steuerungen für aussetzenden Betrieb.
 6. Dr. Ing. W. Stiel. Elektrobetrieb in der Textilindustrie, 1930 r. 652 str.
 7. Siemens Zeitschrift. 1929 r. Nr. 11 i inne.
 8. AEG. Zeitschrift.
 9. ASEA — Revue.
 10. E. v. Rziha. J. Seidener. Starkstromtechnik-Taschenbuch.
 11. Dr. Ing. Dettmar. Deutscher kalender für Elektrot.
 12. Przegląd Elektrotechniczny 1932 r. zeszyt 8.
 13. Sliwiński Stanisław. Zużycie energii mechanicznej w cukrowniach str. 229 rys. 125. 1933 r.
-