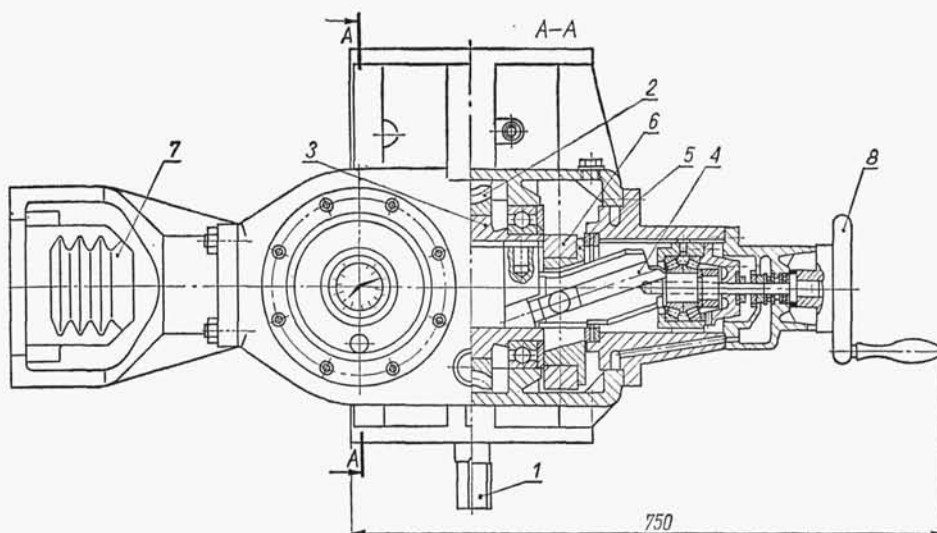


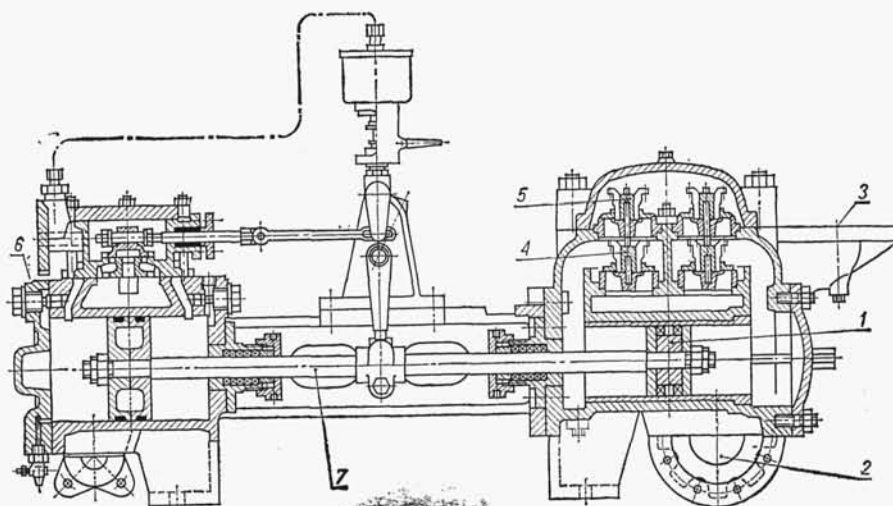
Rys. 5.25. Pompy dozujące firmy Bran und Luebbe (RFN): a) nurnikowa jednostronnego działania, b) tłokowa dwustronnego działania, c) zawory stosowane w pompach dozujących; 1 — nurnik (lub tłok talerzowy), 2 — zawór ssawny, 3 — zawór tłoczny

5.2. Pompy wielotłoczkowe

Pompy wielotłoczkowe (wielocylindrowe) w klasyfikacji znajdują się między pompami tłokowymi o ruchu postępowo-zwrotnym tłoków a pompami rotacyjnymi. W zależności od układu cylindrów pompy wielotłoczkowe dzieli się na pompy o układzie promieniowym i pompy o układzie osiowym.



Rys. 5.26. Dwie pompy dozujące firmy Bran und Luebbe z regulacją wydajności, o wspólnym napędzie; 1 — wał napędowy ze ślimakiem, 2 — ślimacznica, 3 — tuleja napędowa, 4 — wał z ukośną szczeliną prowadzącą, 5 — mimośród, 6 — korbowód pompy, 7 — głowica do umocowania tłocznika pompy, 8 — pokrętło do regulacji



Rys. 5.27. Bezkorbową pompa tłokowa typu Duplex; 1 — tłok pompy, 2 — króciec ssawny, 3 — króciec tłoczny, 4 — zawory ssawne, 5 — zawory tłoczne, 6 — silnik parowy tłokowy, 7 — wspólne tłocznisko cylindra pompy i maszyny parowej

Do najważniejszych zalet pomp wielotłoczkowych należą:

- równomierna wydajność dzięki małemu przesunięciu fazy działania przesuwających się kolejno tłoków;
- bezpośrednie sprzężenie pompy z silnikiem napędowym (z wykluczeniem pośrednich przekładni);
- zbędność zaworów dzięki zastosowaniu odpowiednich kanałów;
- nie występuje konieczność stosowania napędu korbowego, gdyż ruch tłoków odbywa się w wyniku działania sił odśrodkowych lub nacisku sprężyn;

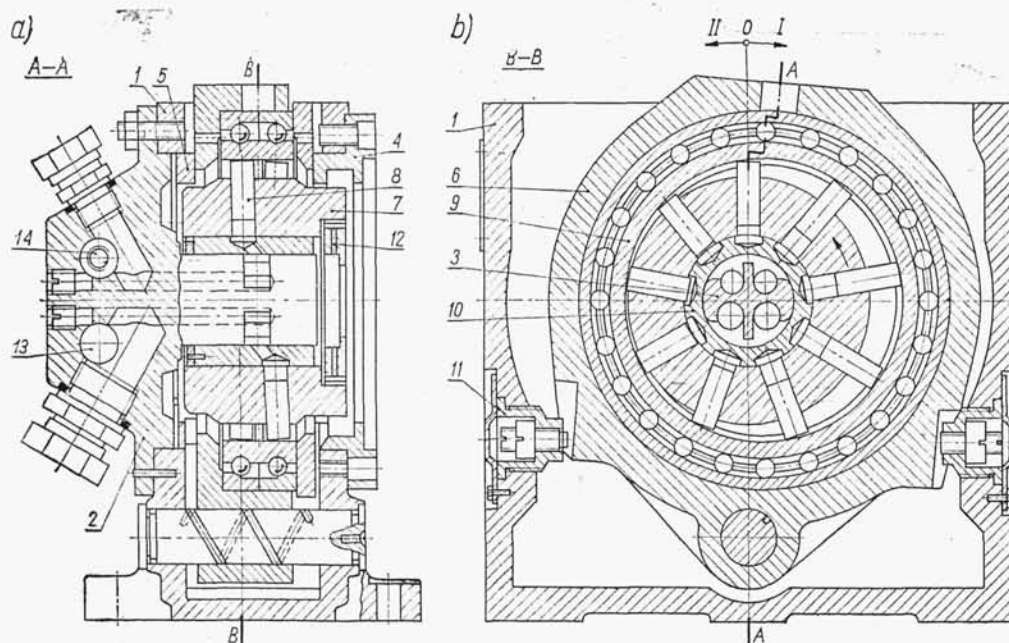
- wszystkie ruchome części pompy są smarowane cieczą pompowaną;
- masa tłoczków jest mała i przy niewielkich skokach siły bezwładności powstające przy ruchu postępowo-zwrotnym są również małe oraz nie wpływają na konstrukcję i działanie pompy tak jak w klasycznych pompach tłokowych przedstawionych w p. 5.1.

Działanie i konstrukcja tych pomp wymaga natomiast bardzo starannej i dokładnej obróbki z zachowaniem wysokich klas dokładności oraz starannego montażu, gdyż od tego zależy szczelność, a przez to i sprawność objętościowa pompy.

5.2.1. Pompy wielotłoczkowe promieniowe

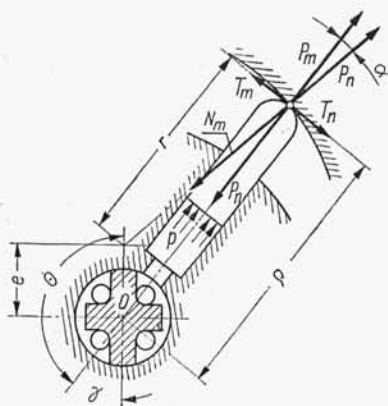
Pompy wielotłoczkowe promieniowe (o promieniowym układzie tłoczków) mają w jednym rzędzie — zależnie od wielkości — od 2 do 13 cylindrów ustawionych promieniowo w płaszczyznach prostopadłych do osi obrotu. Pompy o większych wydajnościach mogą mieć od dwu do sześciu rzędów cylindrów. Na skutek mimośrodkowego położenia osi obrotu rotora (wirnika) w stosunku do nieruchomego pierścienia, po którym ślizgają się głowice tłoczków, tłoczki poruszają się ruchem postępowo-zwrotnym, powodując pompowanie cieczy.

5.2.1.1. Zasada działania pompy wielotłoczkowej. Na rys. 5.28 przedstawiono *dwurzędową pompę wielotłoczkową o układzie promieniowym*. Rotor 7, wirujący ze stałą prędkością obrotową n , ma dwa rzędy cylindrów (po dziewięć w każdym rzędzie),



Rys. 5.28. Pompa wielotłoczkowa o promieniowym układzie cylindrów w dwu rzędach z ręczną regulacją wydajności (wg VEB Industrierwerke Karl-Marx-Stadt); 1 — kadłub, 2 — czop z kanałami ssawnymi i tłocznymi, 3 — środnik sterujący, 4 — pierścień odległościowy (dystansowy), 5 — pierścień nastawczy, 6 — rama uchylna, 7 — blok cylindryczny, 8 — tłoczki, 9 — (wewnętrzny pierścień bieżni łożyska promieniowego), 10 — tuleja, 11 — zderzak ze śrubą, 12 — sprężko, 13 — otwór dopływowy (ssawny), 14 — otwór tłoczny

w których poruszają się tłoki 8. Ruch tłoków w kierunku promieniowo-odśrodkowym odbywa się pod wpływem siły odśrodkowej, a w kierunku dośrodkowym pod wpływem reakcji kierującego pierścienia 9, stanowiącego wewnętrzny pierścień bieżny łożyska promieniowego, o który są oparte tłoczki. Przy obrocie w kierunku strzałki cztery tłoczki znajdujące się poniżej płaszczyzny poziomej wału zasysają ciecz pompowaną przez dwa dolne otwory czopa 2. W tym czasie górne tłoczki wytłaczają ciecz przez górne dwa otwory czopa do wylotu 19. Z chwilą przejścia każdego tłoczka przez płaszczyznę poziomą jego działanie zmienia się na odwrotne. Mimośrodowość kierującego pierścienia 9 w stosunku do osi rotoru może być regulowana ręcznie za pomocą mechanizmu przedstawionego na rys. 5.28b, dzięki czemu uzyskuje się płynną regulację wydajności pompy. Przedstawiona konstrukcja umożliwia zmianę kierunku pompowania przy niezmiennym kierunku obrotów przez przestawienie układu z położenia I w położenie II.



Rys. 5.29
Schemat działania tłoczka wielotłoczkowej pompy o promieniowym układzie cylindrów

5.2.1.2. Kinematyka tłoczka. Tłoczek wykonuje ruch postępowo-zwrotny wzdłuż osi cylindra (rys. 5.29), a jednocześnie podlega ruchowi obrotowemu wraz z cylindrem wokół osi bloku cylindrowego ze stałą prędkością kątową ω . Rozpatrując podobnie jak w p. 5.1 oraz zakładając nieskończoną długość korbowodu, można *prędkość tłoczka* wyrazić zależnością

$$c = e\omega \sin \gamma \quad (5.128)$$

gdzie: e — mimośrodowość, γ — kąt między osią cylindra a osią położenia zwrotnego.

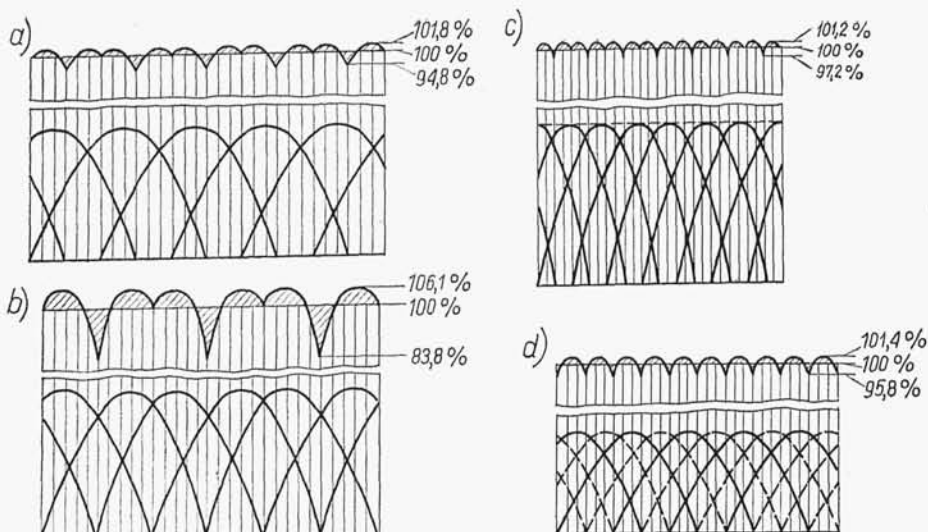
5.2.1.3. Wydajność pompy. Wydajność teoretyczna chwilowa q_{th} jednego cylindra wyniesie

$$q_{th} = Ac = Ae\omega \sin \gamma \quad (5.129)$$

gdzie A — przekrój tłoczka.

Chwilową teoretyczną wydajność wszystkich z tłoczków, czyli wydajność pompy wielotłoczkowej określa wzór

$$Q_{th} = Ae\omega \sum_{i=1}^{i=z} \sin \left(\gamma + \frac{2\pi i}{z} \right) \quad (5.130)$$



Rys. 5.30. Teoretyczne chwilowe wydajności Q pomp wielotłoczkowych dla czterech różnych liczb cylindrów z : a) $z=5$, b) $z=6$, c) $z=7$, d) $z=10$

Wzór jest słuszny dla dodatnich wartości wyrażenia $\sin\left(\gamma + \frac{2\pi i}{z}\right)$.

Ze wzoru (5.130) wynika, iż wydajność pompy zmienia się w sposób pulsujący. Na rys. 5.30 przedstawiono wykresy chwilowych wydajności pomp przy czterech różnych liczbach cylindrów.

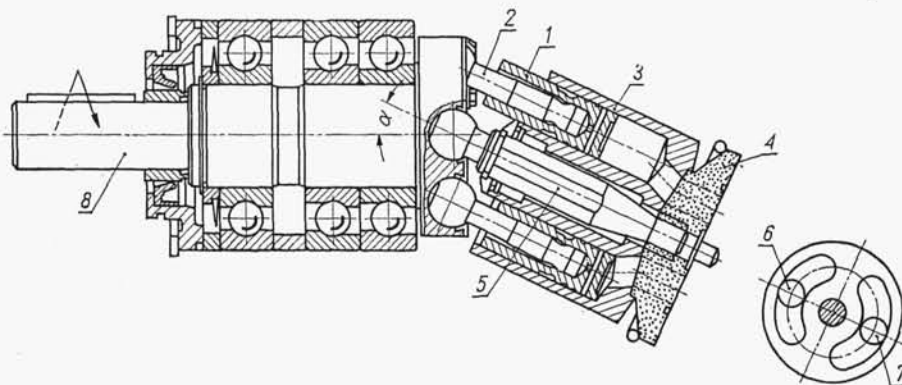
Rzeczywistą (obliczeniową) wydajność pompy wielotłoczkowej określa zależność

$$Q_r = \eta_v A s n z \quad (5.131)$$

gdzie: $s=2e$ — skok tłoczka, z — liczba cylindrów (ze względu na nierównomierną wydajność stosuje się przy $z < 10$ nieparzystą liczbę cylindrów, przy $z > 10$ liczba cylindrów może być parzysta).

5.2.2. Pompy wielotłoczkowe o osiowym układzie tłoczków

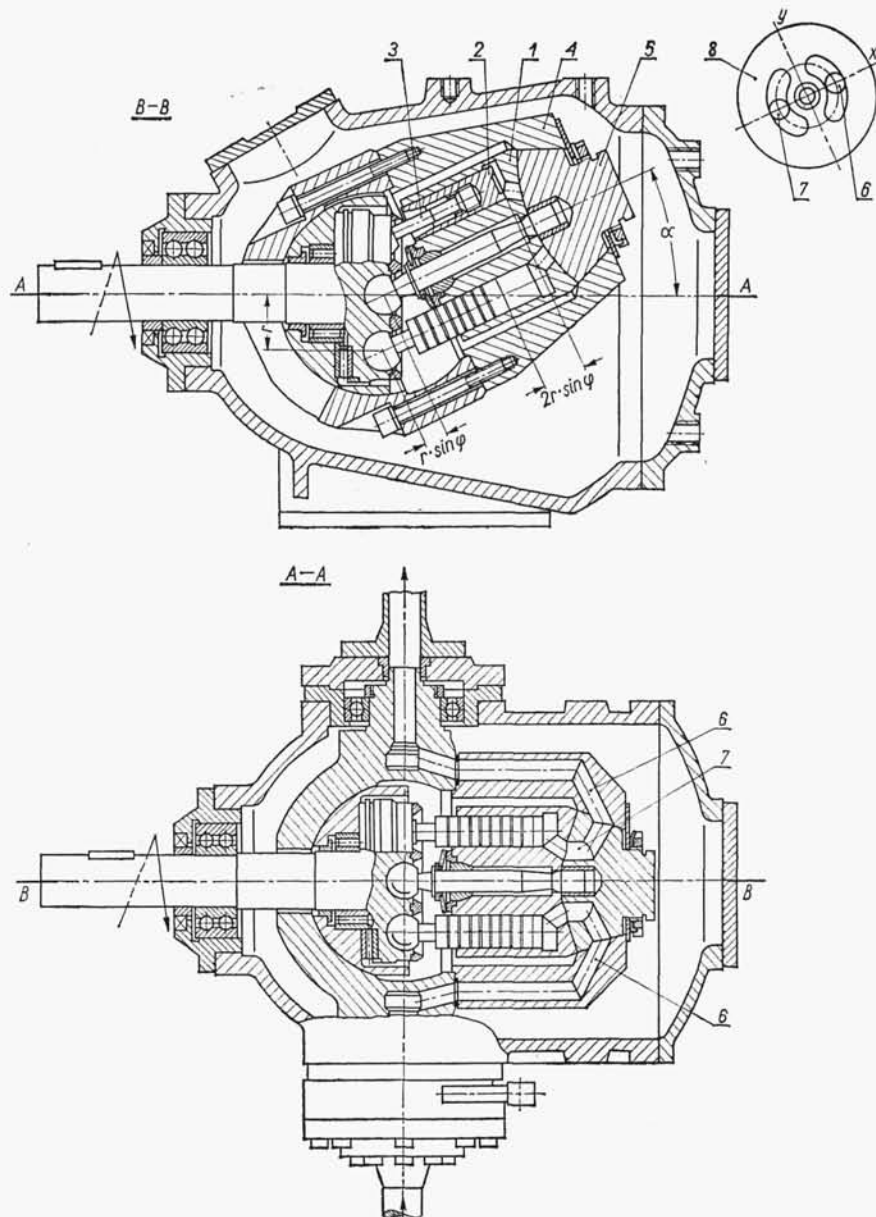
W pompach tego rodzaju cylindry w liczbie 5 do 18 są usytuowane w kierunku osiowym w wirującym bloku cylindrowym. Głowice tłoczków są okresowo naciskane przez tarczę ustawioną pod pewnym kątem α do osi obrotu, powodując ich ruch



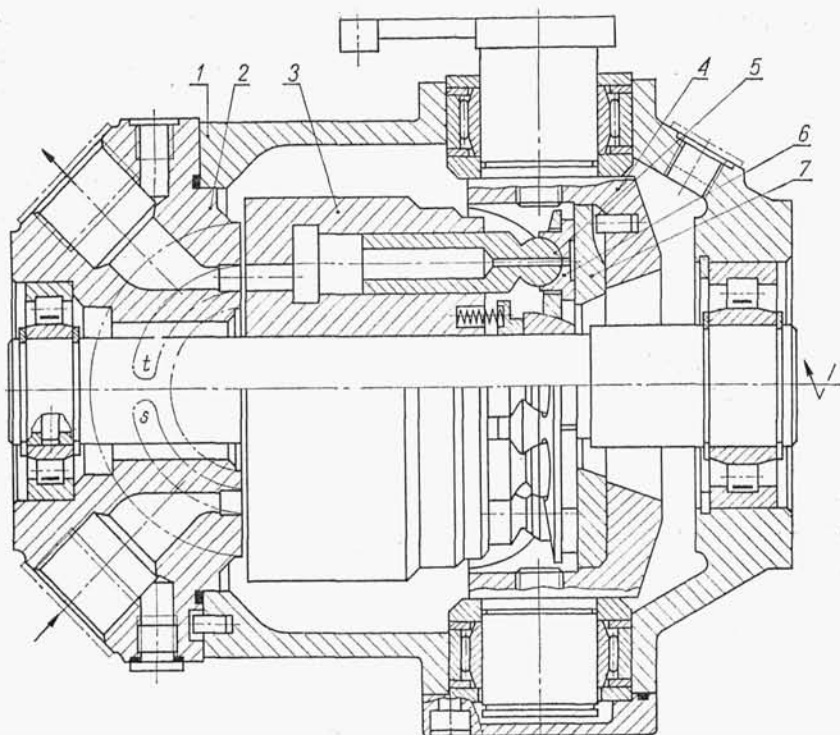
Rys. 5.31. Pompa wielotłoczkowa o osiowym układzie cylindrów z regulacją wydajności firmy Rauch (RFN); 1 — tłok, 2 — tłocznisko, 3 — blok cylindrowy, 4 — tarcza rozdzielcza, 5 — trzpień sterujący, 6 — otwór ssawny, 7 — otwór tłoczny, 8 — wał napędowy, 9 — kąt odchylenia bloku cylindrowego

postępowo-zwrotny. Stosowane są konstrukcje o stałym kącie nachylenia, a więc bez możliwości regulacji wydajności pompy, jak też konstrukcje z regulacją wydajności i kierunku przepływu przez zmianę kąta nachylenia w czasie postoju oraz w czasie ruchu pompy.

5.2.2.1. Zasada działania. Schemat pompy przedstawiono na rys. 5.31. Wał 8 pompy obraca blok cylindrowy 3, połączony z wałem za pomocą trzpienia sterującego 5,



Rys. 5.32. Pompa wielotłoczkowa o osiowym układzie cylindrów z regulacją wydajności typu Thoma firmy Mannesmann-Meer AG; 1 — blok cylindrowy, 2 — tłoczek, 3 — tłoczysko, 4 — osłona bloku cylindrowego, 5 — stożek (tarcza) rozdzielczy, 6 — kanał ssawny, 7 — kanał tłoczny, 8 — tarcza rozdzielcza, α — kąt odchylenia osłony, $-25^\circ < \alpha < +25^\circ$ (przy zmianie kąta na przeciwny następuje zmiana kierunku przepływu cieczy)



Rys. 5.33. Pompa wielotłoczkowa osiowa z regulacją wydajności przez zmianę kąta pochylenia tarczy kierującej (wg VEB Industrierwerke Karl-Marx-Stadt); 1 — kadłub, 2 — tarcza rozdzielcza z powierzchnią ślizgową i otworami dopływowym (ssawnym) s i tłocznym t , 3 — blok cylindrowy z wałem, 4 — wychylne jarzmo, 5 — tłoczek z głowicą, 6 — tarcza ślizgowa z kulistym gniazdem, 7 — tarcza kierująca (przy zmianie kąta odchylenia jarzma na przeciwny następuje zmiana kierunku przepływu cieczy pompowanej)

osadzonego w nieruchomej tarczy rozdzielczej 4. W tulejach bloku cylindrowego są umieszczone ruchome tłoczki 1 napędzane tłoczkami 2 wykonujące ruch postępowo-zwrotny, o długości skoku zależnej od wielkości kąta α . Ruch tłoczków powoduje zasysanie cieczy z otworu ssawnego 6 i wytłaczanie jej do otworu tłocznego 7.

Konstrukcyjne rozwiązanie pompy przedstawiono na rys. 5.32.

Nieco odmienną konstrukcję pompy przedstawiono na rys. 5.33. Regulacja wydajności następuje tu przez zmianę kąta ustawienia tarczy kierującej 7, osadzonej w ruchomym jarzmie 4.

5.2.2.2. Kinematyka tłoczka. Prędkość tłoczka o ruchu postępowo-zwrotnym określa wzór

$$c = R\omega \sin \alpha \sin \varphi \quad (5.132)$$

gdzie: R — promień okręgu rozmieszczenia środków cylindrów, α — kąt między osią bloku cylindrowego i osią tarczy kierującej, φ — kąt bieżący obrotu bloku cylindrowego wirującego ze stałą prędkością kątową ω .

Skok tłoczka s jest zmienny. Określa go w przybliżeniu zależność

$$s = 2R \operatorname{tg} \alpha \quad (5.133)$$

5.2.2.3. Wydajność pompy. Chwilowa teoretyczna wydajność jednego cylindra wynosi

$$q_{th} = Ac = AR\omega \sin \alpha \sin \varphi \quad (5.134)$$

Całkowitą chwilową wydajność pompy jako sumę wydajności wszystkich cylindrów określa wzór

$$\begin{aligned} Q_{th} &= q_{th1} + q_{th2} + \dots = AR\omega \sin \alpha \sin \varphi_1 + AR\omega \sin \alpha \sin \varphi_2 + \dots = \\ &= AR\omega \sin \alpha \sum_{i=1}^{i=z} \sin \left(\varphi + \frac{2\pi i}{z} \right) \end{aligned} \quad (5.135)$$

gdzie: φ_1, φ_2 itd. — kąty obrotu cylindrów względem położenia zerowego, z — liczba tłoczków, i — kolejny nr tłoczka.

Rzeczywistą wydajność pompy oblicza się ze wzoru

$$Q_r = \eta_v A s n z = 2\eta_v A R n z \operatorname{tg} \alpha \quad (5.136)$$

5.2.3. Równomierność wydajności pomp wielotłoczkowych

Na skutek dużej liczby cylindrów w pompach obu typów wahania wydajności są stosunkowo niewielkie. Można je obliczyć przez sumowanie chwilowych wydajności poszczególnych cylindrów lub wyznaczyć wykreślnie przez sumowanie rzędnych wykresów chwilowych wydajności, podobnie jak w przypadku pomp tłokowych p. 5.1.

Współczynnik nierównomierności wydajności jest określony wzorem

$$\delta_Q = \frac{Q_{\max} - Q_{\min}}{Q_{sr}} \quad (5.137)$$

Wartości współczynnika δ_Q w zależności od liczby z cylindrów i ich układu podano w tabl. 5.2.

Tablica 5.2. Wartości współczynnika δ_Q w zależności od liczby cylindrów w pompie wielotłoczkowej

Układ cylindrów	Liczba cylindrów z									
	5	6	7	8	9	10	11	12	15	18
Promieniowy, %	6,2	14	3,1	7,8	1,9	5,0	1,2	3,5	0,6	1,5
Osiowy, %	5,0	14	2,5	7,8	1,5	5,0	1,0	3,5	0,6	1,5

Podane wartości pomp promieniowych dotyczą pomp o cylindrach ustawionych w jednym albo w dwu rzędach, ale o osiach cylindrów jednego rzędu przesuniętych względem osi cylindrów rzędu drugiego.

5.2.4. Sprawność i moc pomp wielotłoczkowych

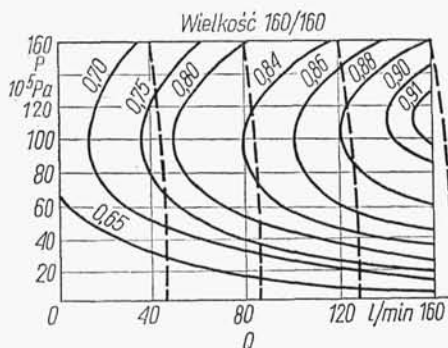
Sprawność objętościowa η_v pomp wielotłoczkowych zależy w dużym stopniu od ich wysokości podnoszenia (ze wzrostem ciśnienia wzrasta wielkość przecieków). Największe wartości sprawności objętościowej wynoszą $\eta_v = 0,94$. Sprawność mechaniczna η_m tych pomp osiąga wartość 0,96.

Całkowita sprawność pomp przy nominalnych parametrach pracy zawiera się w granicach $\eta = 0,83 \div 0,90$.

Na rys. 5.34 jest przedstawiona charakterystyka uniwersalna (pagórek sprawności) pompy o promieniowym układzie cylindrów.

Charakterystyki pomp o osiowym układzie cylindrów mają zbliżony przebieg. Moc potrzebną do napędu pompy oblicza się za pomocą wzorów (4.19) i (4.20)

$$P_w = \frac{\gamma Q_r H 10^{-3}}{\eta} = \frac{Q_r p 10^{-3}}{\eta} \text{ kW} \quad (5.138)$$



Rys. 5.34
Charakterystyka pompy wielotłoczkowej promieniowej wielkości 160/160, przy regulacji 0,25, 0,50 i 0,75 Q_n oraz Q_n (wg Pohlensa)

5.2.5. Zastosowanie pomp wielotłoczkowych

Pompy wielotłoczkowe są stosowane w coraz to szerszym zakresie w napędach hydraulicznych maszyn, w układach sterowania hydraulicznego (jako generatory przepływu) oraz w urządzeniach służących do przemiany energii mechanicznej na energię cieczy i na odwrót. Pompy te cechuje duża równomierność wydajności dzięki małemu przesunięciu fazy działania następujących po sobie tłoczków.

Wydajność pomp wielotłoczkowych $Q = 6 \div 400$ l/min, ciśnienie p do 30 MPa (300 at) (pompy o promieniowym układzie cylindrów nawet do 100 MPa (1000 at), ale powyżej 30 MPa (300 at) stosuje się rozrząd zaworowy), przy prędkościach obrotowych n do 1500 obr/min.

Zgodnie z założeniami konstrukcyjnymi pompy wielotłoczkowe stosuje się do cieczy o dobrych właściwościach smarnych (oleje mineralne, syntetyczne, oleje bez domieszki wody i agresywnych czynników chemicznych oraz bez zanieczyszczeń mechanicznych) o lepkości względnej w granicach od 6 do 360 mm²/s (cSt) i temperaturze cieczy t do 70°C.

5.3. Pompy przeponowe (membranowe)

Pompy przeponowe (membranowe) należą do pomp o ruchu postępowo-zwrotnym organu roboczego.

Organem roboczym pompy jest prężna przepona uruchamiana bezpośrednio za pomocą układu dźwigniowego lub za pośrednictwem nurnika poruszającego się w obszarze cieczy, która naciska na przeponę.