

Przy uwzględnieniu zmienności prędkości południkowej c_{m2} wzdłuż krawędzi wylotowej wyznaczamy jej wartości ze wzoru opartego na teorii ruchu potencjalnego

$$\ln \frac{c_m}{(c_{m2})_E} = \frac{y}{\mu \varrho_E} \left[\frac{y}{2b_2} \left(\frac{\varrho_E}{\varrho_A} - 1 \right) + 1 \right] \quad (12.20)$$

gdzie: c_m — prędkość południkowa w dowolnym punkcie krawędzi wylotowej, y — odległość tego punktu od punktu E , $(c_{m2})_E$ — prędkość południkowa w punkcie E , b — długość rozwiniętej krawędzi wylotowej, ϱ_A — promień krzywizny przedniej tarczy, ϱ_E — promień krzywizny tylnej tarczy w przekroju południkowym, $\mu = 2 \div 4$ — współczynnik poprawkowy uwzględniający przepływ rzeczywisty.

12.3. Kształtowanie powierzchni łopatek

12.3.1. Uwagi ogólne. Metody kształtowania powierzchni łopatek

Na podstawie przeprowadzonych obliczeń wyznaczono wymiary wlotu do i wylotu z wirnika wraz z kątami nachylenia łopatek. Należy następnie ukształtować powierzchnię łopatek od wlotu do wylotu tak, aby utworzone przez nie kanały międzyłopatkowe zapewniły najbardziej sprawny przepływ względny.

Wyznaczenie powierzchni łopatki jest możliwe graficznie przez wyznaczenie przebiegu poszczególnych linii (śladów) przecięć łopatki powierzchniami prądu (linia ABFCG, rys. 9.2). Są to krzywe przestrzenne. Rysunkowe wyznaczenie ich kształtu jest możliwe za pomocą rzutów: południkowego i osiowego.

Stosowane są trzy metody profilowania łopatek: *metoda punktowego wyznaczania przebiegu linii prądu*, *metoda odwzorowania konforemnego na płaszczyznę* i *metoda odwzorowania konforemnego na powierzchnię stożkową*. Spośród wymienionych metod najbardziej popularna i najmniej pracochłonna jest metoda odwzorowania konforemnego na płaszczyznę.

12.3.2. Metoda punktowego wyznaczania przebiegu linii przecięć wg C. Pfleiderera

Metoda ta została szczegółowo omówiona w odniesieniu do pomp odśrodkowych. W zastosowaniu do wirników o przepływie ukośnym przestrzennym występują pewne różnice i trudności w jej zastosowaniu.

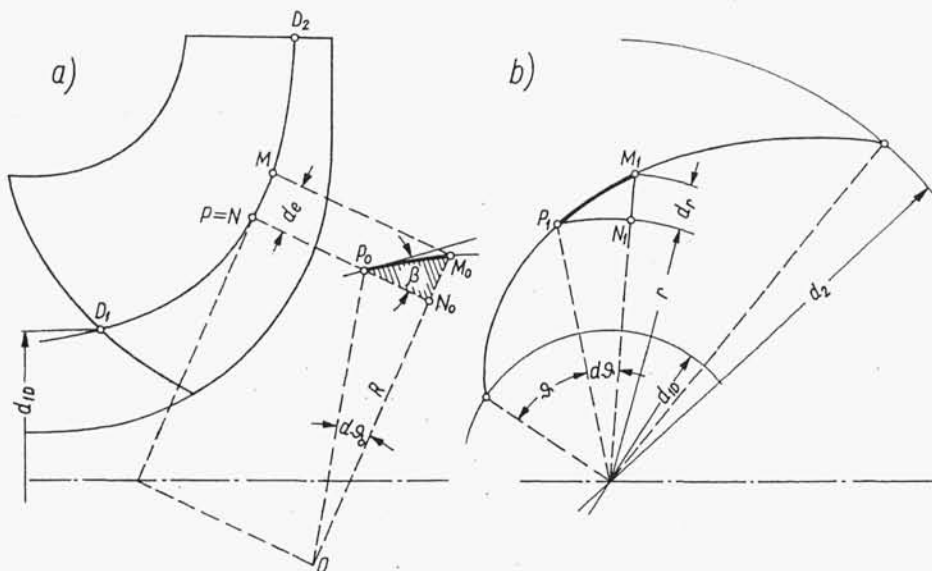
Rozpatrzmy elementarny trójkąt MNP utworzony przy przyroście kąta $d\vartheta$, czemu odpowiada przyrost $de = MN$ w rzucie południkowym (rys. 12.5a). Zróbmy kład tego trójkąta. Otrzymamy jego wartość rzeczywistą $M_0N_0P_0$; przy czym kąt między bokami M_0P_0 i P_0N_0 jest kątem β nachylenia linii prądu. Możemy napisać zależność

$$\operatorname{tg} \beta = \frac{\overline{M_0N_0}}{\overline{P_0N_0}} = \frac{de}{R d\vartheta_0} \quad (12.21)$$

Ponieważ

$$R d\vartheta_0 \approx r d\vartheta \quad (12.22)$$

gdzie $R = \overline{ON_0}$



Rys. 12.5. Metoda punktowa wyznaczania przebiegu linii przecięć łopatki

$$\text{więc } \operatorname{tg} \beta = \frac{de}{r d\vartheta} \quad (12.23)$$

$$\text{stąd } d\vartheta = \frac{de}{r \operatorname{tg} \beta} \quad (12.24)$$

Po scałkowaniu i wprowadzeniu przeliczenia z radianów na stopnie otrzymamy

$$\vartheta = \frac{180^\circ}{\pi} \int_0^e \frac{de}{r \operatorname{tg} \beta} \quad (12.25)$$

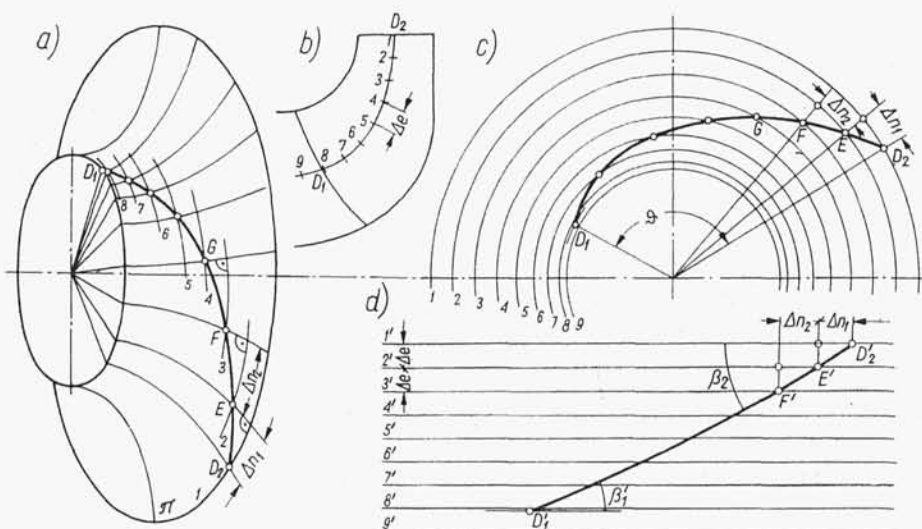
Całka ta jest nierozwiązalna i w praktyce zastępujemy ją sumą skończonych przyrostów, przeprowadzając obliczenia tabelarycznie, jak dla pomp odśrodkowych.

Przez zastosowanie tej metody dla wielu linii przecięć otrzymuje się z reguły różne ich długości i należy przeprowadzać obliczenia korygujące, żmudne i pracochłonne. Z tego więc względu stosujemy tę metodę w pompach odśrodkowych o przestrzennej krzywiznie łopatek (np. wirniki pomp zasilających) dla środkowej lub dwu skrajnych linii prądu. Pozostałe linie wyznaczamy metodą odwzorowania konforemnego.

12.3.3. Metoda odwzorowania konforemnego na płaszczyznę

Metoda ta pozwala na wierne odwzorowanie kątów nachylenia linii przecięcia oraz jej długości na płaszczyźnie. Nie odwzorowuje natomiast kształtu kanału międzyłopatkowego.

Na dowolnej powierzchni prądu π (rys. 12.6a) leży linia przecięcia $D_1 D_2$. Oznaczmy na jej rzucie południkowym (rys. 12.6b) punkty 1, 2, 3 itd. w jednakowej (choć nie jest to konieczne) odległości Δe od siebie i poprowadźmy przez nie płaszczyzny prostopadłe do osi wirnika. Śladami przecięć tych płaszczyzn z powierzchnią prądu są współśrodkowe koła przecinające linię (ślad) $D_1 D_2$ w punktach E, F,



Rys. 12.6. Odwzorowanie konforemne na płaszczyznę

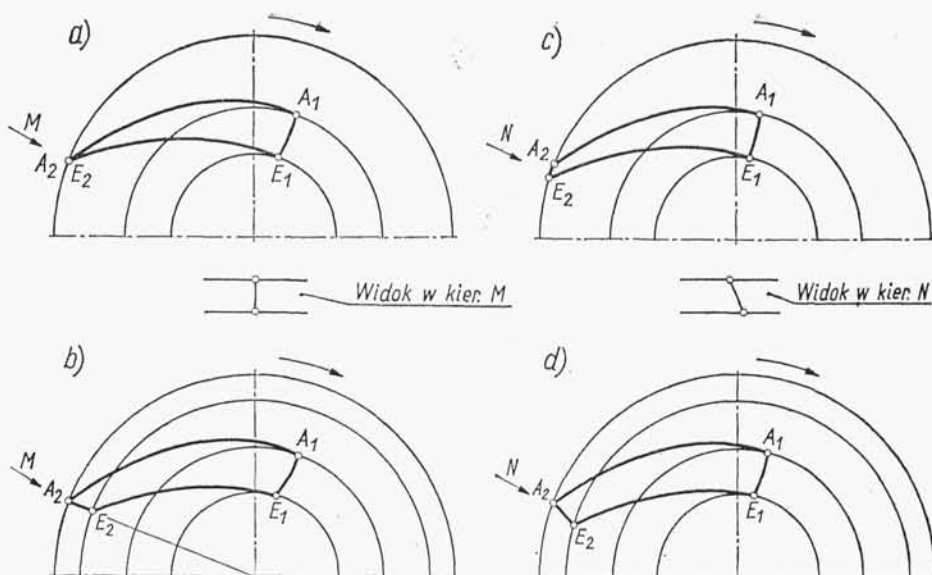
G itd. (rys. 12.6c). Przesuwając przez te punkty płaszczyzny południkowe, otrzymamy na powierzchni prądu trójkąty krzywoliniowe prostokątne utworzone przez przyprostokątne Δe , odcinki Δn łuków kół współśrodkowych oraz przeciwprostokątne będące odcinkami linii D_2E , EF , FG i inne. Trójkąty są przedstawione na rzucie osiowym (rys. 12.6c) w pewnym skrócie. Utworzone trójkąty podlegają odwzorowaniu na płaszczyznę.

W tym celu rysujemy siatkę złożoną z prostych względem siebie równoległych $1'$, $2'$ itd. o wzajemnej odległości Δe odpowiadającej odległości kół współśrodkowych $1, 2, 3 \dots$. Linie proste odpowiadają tym kołom i należy je oznaczyć tymi samymi numerami (rys. 12.6d).

Obieramy na prostej $1'$ w dowolnym miejscu punkt D'_2 , odkładamy na niej w lewo od niego odcinek Δn_1 wzięty z rzutu osiowego (rys. 12.6c) jako łuk koła, który możemy przyjąć jako odcinek prostej i prowadzimy prostą $2'$ do przecięcia z prostą $2'$. Punkt przecięcia E' jest odwzorowanym punktem E linii D_1D_2 . Podobnie na prostej $2'$ odkładamy odcinek Δn_2 , prowadzimy prostą $3'$ i otrzymamy następny punkt tej linii F' . W ten sposób odwzorowujemy wszystkie trójkąty krzywoliniowe na płaszczyznę. Łącząc otrzymane punkty, na rys. 12.6d otrzymamy odwzorowanie konforemne linii $D'_1D'_2$. Odwzorowana linia wiernie odtwarza kąty nachylenia β rzeczywistej linii D_1D_2 oraz wiernie przedstawia jej długość. Natomiast krzywizna tej linii nie jest odwzorowana wiernie, chociaż mamy prawo sądzić, iż wszelkie załamania rzeczywistej linii przecięcia również znajdują odzwierciedlenie w jej konforemnym odwzorowaniu.

W identyczny sposób przeprowadzamy odwzorowanie konforemne pozostałych linii przecięć łopatek powierzchniami prądu.

Przy projektowaniu wirnika i profilowaniu łopatek za pomocą odwzorowania konforemnego postępujemy odwrotnie, mamy bowiem dane wymiary wirnika, określone krawędzie łopatek i obliczone kąty wlotowe i wylotowe dla poszczególnych linii przecięć, a musimy zaprojektować przebieg tych linii od wlotu do wylotu.



Rys. 12.7. Przebieg skrajnych linii przecięć, przy krawędzi wylotowej: a) równoległej do osi wirnika, b) ukośnej względem osi, lecz leżącej w płaszczyźnie południkowej, c), d) zwichrowanej

Sporządzamy płaską siatkę (jak na rys. 12.6d) na niej odkładamy kąty β_2 i β'_1 (obliczone uprzednio) na prostych odpowiadających okręgom kół w rzucie osiowym, następnie łączymy punkt początkowy i końcowy stycznie do naniesionych kątów, otrzymując w ten sposób linię przecięcia w rozwinięciu. Wyznaczamy na rozwinięciu trójkąty cząstkowe, które przenosimy na rzut osiowy, otrzymując kolejne punkty tej linii (jak na rys. 12.6b). Łącząc otrzymane punkty za pomocą krzywki otrzymujemy rzut osiowy linii przecięcia.

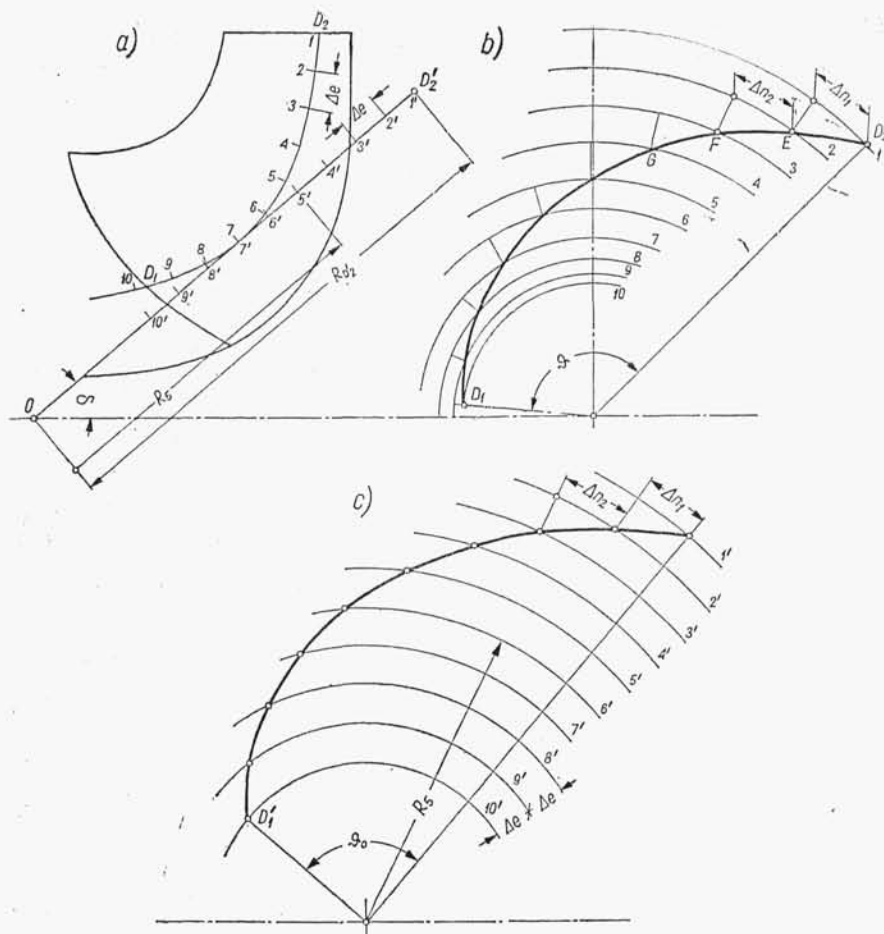
W ten sam sposób projektujemy wszystkie pozostałe linie. Przy tej metodzie możemy w rzucie osiowym otrzymać również zbyt duże różnice długości poszczególnych linii przecięć i należy przeprowadzić ponownie przebieg projektowania zmieniając odpowiednio długość linii w rozwinięciu na siatce odwzorowującej. Jeżeli krawędź wylotowa łopatki ma być równoległa do osi obrotu wirnika, to w rzucie osiowym wszystkie linie przecięć na krawędzi wylotowej muszą wychodzić z jednego punktu (rys. 12.7a).

W przypadku krawędzi wylotowej ukośnej, lecz leżącej w płaszczyźnie południkowej, punkty poszczególnych linii będą przesunięte w kierunku promieniowym (rys. 12.7b).

W przypadku krawędzi wylotowej zwichrowanej względem osi obrotu wirnika linie przecięć będą rozsunięte (rys. 12.7c, d). Takie ukośne położenie krawędzi zmniejsza krzywiznę powierzchni łopatki i ułatwia kształtowanie kanału międzyłopatkowego.

12.3.4. Metoda odwzorowania konforemnego na powierzchnię stożkową

Na rys. 12.8 podano metodę odwzorowania konforemnego na powierzchnię stożkową. Na linii prądu D_1D_2 (rys. 12.8a) odkładamy jednakowe odcinki Δe oznaczając punkty 1, 2, 3 ..., przez które przebiegają okręgi kół współśrodkowych widoczne w rzucie osiowym na rys. 12.8b. Następnie rysujemy stożek styczny do linii prądu

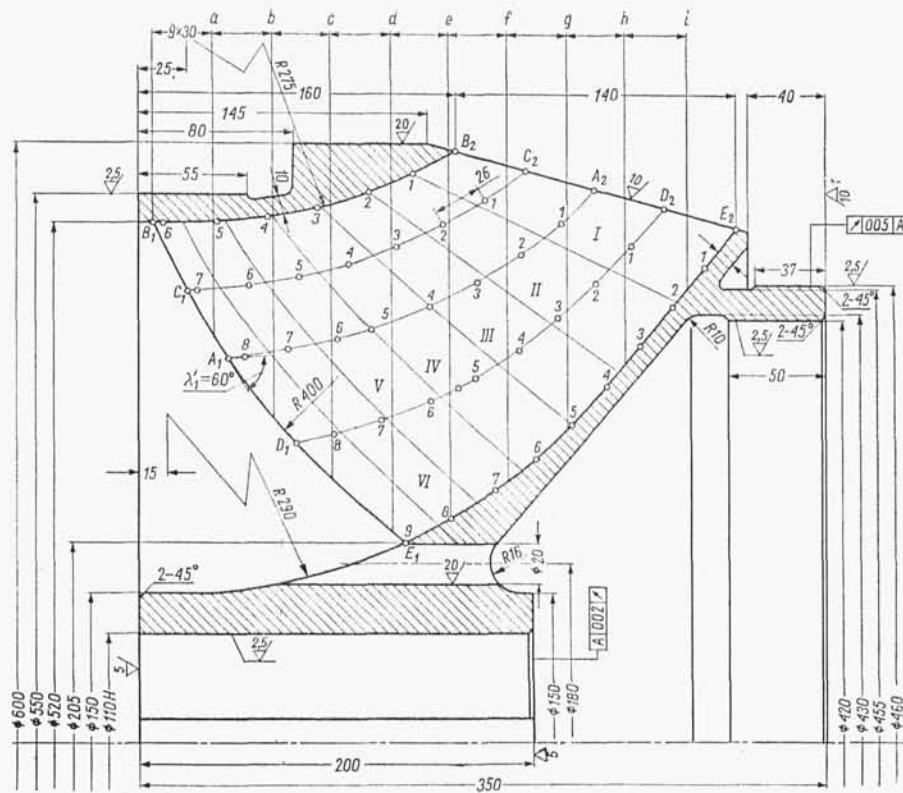


Rys. 12.8. Odwzorowanie konforemne na powierzchnię stożkową: a) linia przecięcia w rzucie południkowym, b) linia w rzucie osiowym, c) linia na rozwiniętej powierzchni stożkowej

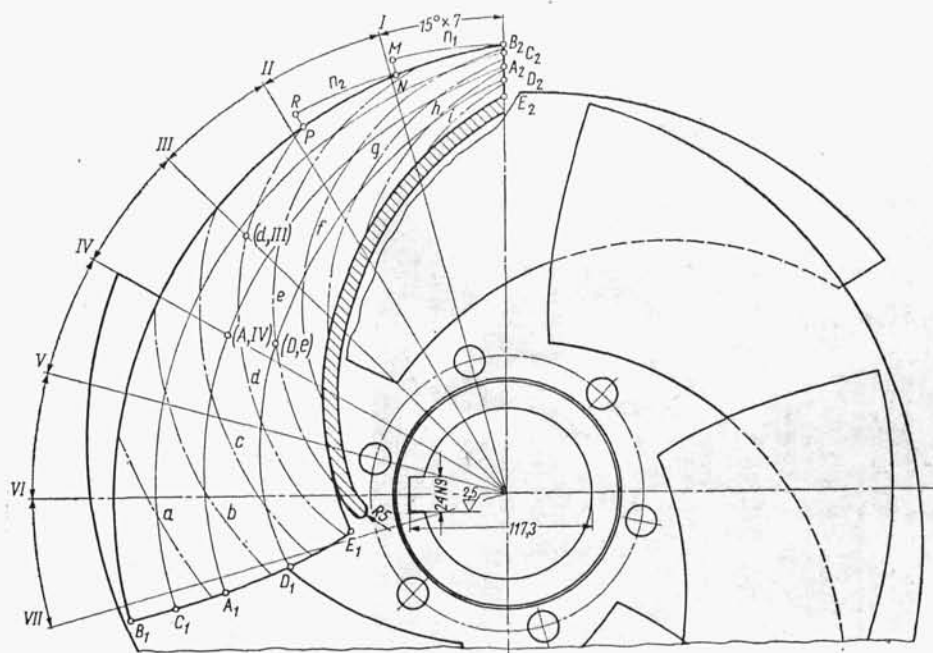
$D_1 D_2$ (rys. 12.8a) w połowie jej długości (w przybliżeniu). Na pobocznicy stożka odkładamy kolejno odcinki Δe poczynając od punktu styczności i oznaczając odpowiednio punkty $6', 5', 4'$ itd. Przeprowadzamy następnie rozwinięcie stożka (rys. 12.8c), przy czym współśrodkowe koła $1, 2, 3 \dots$ będą na rozwinięciu łukami kołowymi $1', 2', 3' \dots$ o odpowiednich promieniach R . Odwzorowanie linii przecięcia na rozwiniętą powierzchnię stożkową odbywa się dalej podobnie, jak omówione uprzednio odwzorowanie na płaszczyznę.

Przy projektowaniu wirnika zakładamy kształt danej linii przecięcia na sporządzonym uprzednio rozwinięciu stożkowym na podstawie obliczonych kątów łopatki β'_1 na wlocie i β_2 na wylocie. Następnie odwzorowujemy założony kształt linii przecięcia na rzut osiowy wirnika.

Metoda odwzorowania konforemnego na powierzchnię stożkową wiernie odwzorowuje w rozwinięciu kąty nachylenia linii przecięcia do kierunku obwodowego, długość linii, a ponadto z większą dokładnością przekazuje krzywiznę linii, niż metoda poprzednia. Metoda ta jest jednak bardziej pracochłonna i jest stosowana do projektowania wirników turbin wodnych i dużych pomp.



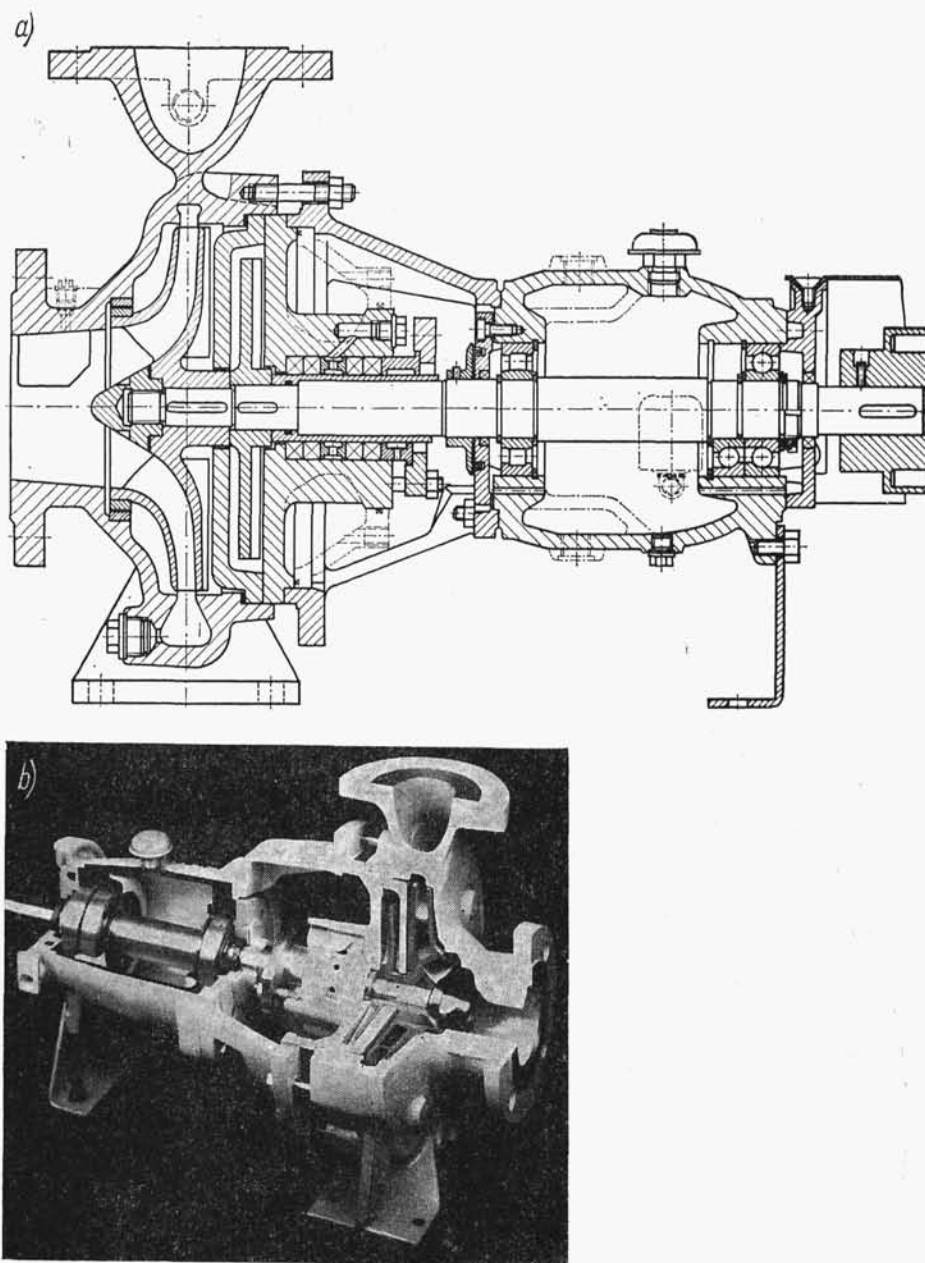
Rys. 12.9. Przekrój południkowy wirnika pompy diagonalnej



Rys. 12.10. Widok wirnika w rzucie osiowym

12.3.5. Sprawdzanie powierzchni łopatki

Powierzchnia łopatki, określona przez rzuty poszczególnych linii prądu, może wykazywać nieprawidłowości w formie wgłębień, wybrzuszeń itp. W celu jej sprawdzenia dokonujemy dwukrotnych przecięć modelarskich. Łopatkę w rzucie osiowym (rys. 12.10) przecinamy szeregiem płaszczyzn południkowych *I, II, III* ... Ślady przecięcia płaszczyzn z liniami prądu pokazano w rzucie południkowym na rys. 12.9.



Rys. 12.11. Pompa odśrodkowa typu CNH (firmy Ochsner-Linz do cieczy agresywnych, z całkowitym odciążeniem dławnicy: a) przekrój pompy, b) widok i częściowy przekrój

Po ich połączeniu otrzymamy ślady przecięcia łopatki płaszczyznami południkowymi.

Linie te powinny być ciągłe, bez załamania, o wzrastającej krzywiznie w miarę zbliżania się do osi wirnika. Następnie przecinamy wirnik w rzucie południkowym (rys. 12.9) płaszczyznami $a, b, c \dots$ prostopadłymi do osi w równych odległościach od siebie. Punkty przecięcia płaszczyzn z liniami prądu odnosimy na rzut osiowy (rys. 12.10). Łącząc punkty otrzymamy linie przecięcia łopatki płaszczyznami $a, b, c \dots$, w kształcie warstwicy. Linie te powinny być również ciągłe i bez załamania. Ponadto ich zagęszczanie dowodzi o wypukłości powierzchni. W przypadku występujących nieprawidłowości w przebiegu warstwicy należy przeprowadzić korektę przebiegu linii prądu, poczynając od ich rozwinięcia.

12.4. Przykłady rozwiązań konstrukcyjnych pomp o przestrzennej krzywiznie łopatek

12.4.1. Rodzaje pomp

Przestrzenną krzywiznę łopatek mają w zasadzie wirniki pomp o szybkobieżności $n_{sQ} > 30$. Do nich należą (tabl. 10.1): pompy odśrodkowe, helikoidalne i diagonalne.

12.4.2. Pompy odśrodkowe o przestrzennej krzywiznie łopatek

Prawie wszystkie pompy odśrodkowe o podwyższonych wartościach parametrów pracy, szczególnie pompy o nieprzerwanej pracy, np. wodociągowe, oraz pompy, w których istnieje niebezpieczeństwo powstawania kawitacji, mają konstrukcję łopatek wirników o przestrzennej krzywiznie nawet wtedy, gdy wyróżnik szybkobieżności $n_{sQ} < 30$. Pompy o przestrzennej krzywiznie łopatek osiągają dużą sprawność i są w mniejszym stopniu podatne na działanie kawitacji, ponieważ struga w kanale wlotowym wirnika dostaje się wcześniej w obręb działania łopatek zwiększających ciśnienie cieczy.

Przykładem konstrukcji pompy odśrodkowej o przestrzennej krzywiznie łopatek jest pompa przedstawiona na rys. 12.11. Krawędź wlotowa łopatki jest stosunkowo daleko przesunięta w stronę wlotu. Wirniki pomp odśrodkowych o przestrzennej krzywiznie łopatek przedstawiono na rys. 12.12. Na rys. 12.13 przedstawiono kon-



Rys. 12.12
Wirnik pompy odśrodkowej o przestrzennej krzywiznie łopatek wirnika z przezroczystą tarczą przednią umożliwiającą obserwację przepływu