

rys.18.

nio z wykresów  $C$  i  $D$  jako różnicę rzędnych.

Wszystkie wykresy prędkości należy robić w jednakowej skali, aby z odmierzonych na nich długości wektorów można było korzystać bezpośrednio. -

## 6. KONSTRUKCJA ŁOPATEK.

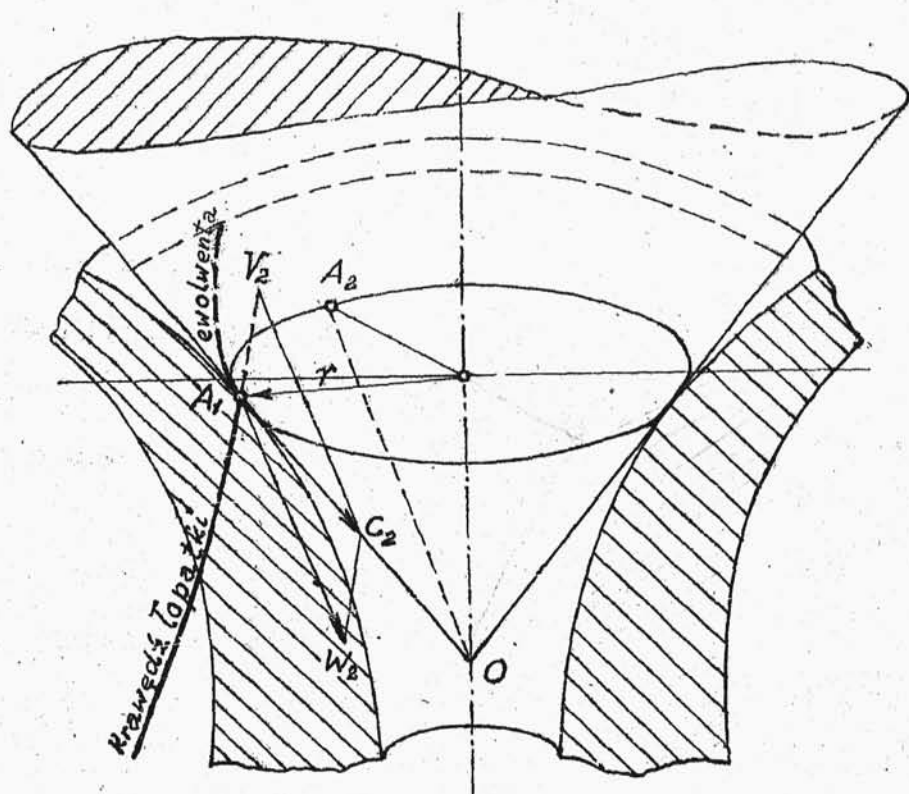
Łopatkę wirnika projektujemy w dwu rzutach, z których pierwszy /profil/ jest rzutem cylindrycznym na płaszczyznę przekroju osiowego linii leżących na łopacie, drugi zaś zwykłym rzutem prostokątnym na płaszczyznę prostopadłą do osi turbiny. Odległości wszystkich punktów rysunku profilowego od osi wirnika, jak również odległości mierzone wzdłuż osi mają zatem długości naturalne.

Z opisu wirnika turbiny promieniowej doszliśmy

do wniosku, że zakończenia łopatek powinny posiadać kształty ewolwent. Zasada powyższa jest zupełnie ogólna bez względu na kształt profilu, stosowanie jej jednak do wirników o łopatkach zwichrzonych napotyka na pewne trudności. W wirniku promieniowym prędkości wody, a zatem i ewolwenty leżały w płaszczyznach prostopadłych do osi turbiny. Tutaj natomiast prędkości te są styczne do lejowatych powierzchni strug, ewolwenty więc jako linie przenikania tych powierzchni z powierzchnią łopatki stanowią krzywe przestrzenne. Zadanie wykreślenia ewolwent przestrzennych upraszczamy w sposób następujący.

Lejowate powierzchnie zastępujemy powierzchniami stożkowymi, stycznymi do nich na obwodzie koła krańców łopatek  $A_1, A_2, \dots$  i t.d. /rys.19/. Prędkości

$C_2 = C_{r2}$  jako styczne do linii prądu, będą oczywiście leżały na tworzących tego stożka. Rozcinamy powierzchnię stożkową wzdłuż jakiejkolwiek tworzącej np. przechodzącej przez krawędź łopatki, poczem rozwijamy ją na płaszczyznę rysunku /Tabl.III/. Koło zakreślone z punktu  $O$  przecięcia stycznej do linii prądu z osią wirnika promieniem  $OA_2$  będzie rozwinięciem koła podstawy stożka. Wraz z rozwinięciem powierzchni stożka znajdzie się w płaszczyźnie rysunku i równoległobok prędkości, którego wektory



rys.19.

możemy odmierzyć na przygotowanych poprzednio wykresach.

At więc, od punktu  $A_1$  odmierzamy na tworzącej prędkość  $C_2$ , zaś na prostopadłej do niej, a stycznej do rozwiniętego koła podstawy, prędkość obwodową  $V_2$ . Wektor prędkości względnej  $W_2$  znajdziemy jako różnicę wektorów  $C_2$  i  $V_2$ . Kąt zawarty pomiędzy wektorami  $W_2$  i  $V_2$  jest żądanym kątem lo-

patki  $\beta_2$ . Ostatecznie zadanie sprowadza się do wykreślenia ewolwenty na płaszczyźnie.

Podobnie jak w wirniku promieniowym rysujemy koło rozwijane ewolwenty styczne do prostej, przechodzącej przez punkt  $A_1$  krawędzi łopatki i prostopadłej do kierunku prędkości  $W_2$ . Na kole podstawy stożka odmierzymy od punktu  $A_1$  łuk  $\widehat{A_1 A_2}$  równy odległości dwu łopatek sąsiednich. Długość tego łuku czyli podziałkę możemy obliczyć dla każdego punktu krawędzi ze wzoru:

$$t = \frac{2\pi r}{v}$$

Linjową tę zależność wyrażamy zazwyczaj wykreślenie  $t = f(r)$  podobnie jak zmianę prędkości obwodowej  $v = f(r)$ , dzięki czemu odpada konieczność wielokrotnego rachunku.

Z punktu  $A_2$  prowadzimy drugą styczną do koła rozwijanego  $A_2 e_2$ , która w przecięciu ze styczną  $A_1 e_1$  wyznaczy środek  $E$  koła zastępującego ewolwentę. Promieniem  $A_1 E$  kreślimy łuk tego koła aż do punktu  $A'_2$  przecięcia z prostą  $A_2 E$  t.j. do punktu leżącego naprzeciwko krawędzi łopatki następnej.

Gdybyśmy teraz rozciętą powierzchnię stożka ponownie zwinęli, ewolwenta  $A_1 A'_2$  znalazłaby się na

jego powierzchni bocznej, odtwarzającej z dużym przybliżeniem żądany tor cząstki wody wzdłuż łopatk.

Podzielmy jeszcze ewolwentę  $A_1 A_2'$  na kilka równych odcinków np. 5 i przerzutujmy cyklicznie dokoła punktu  $O$  punkty podziału  $a_1, a_2, a_3 \dots$  na tworzącą stożka  $OA_1$ . Punkty  $(a_1), (a_2), (a_3) \dots$  będą cylindrycznymi rzutami na płaszczyznę rysunku punktów ewolwenty, leżącej na powierzchni stożka zastępczego.

Zbudowana w ten sposób krzywa ma być jednak krzywizną łopatk w miejscu przecięcia tej ostatniej z powierzchnią strugi. Uzyskujemy to, rozpościerając na powierzchni leja powierzchnię zastępującego go stożka wraz z nakreśloną na niej ewolwentą. W tym celu nawijamy na linję prądu tworzącą  $OA_1$ , przyczem punkty  $(a_1), (a_2), (a_3) \dots$  wyznaczają szereg punktów odpowiednich  $a_1', a_2', a_3' \dots$ , które będą już rzutami punktów ewolwenty rzeczywiście na łopatkce nakreślonej.

W ten sam sposób wykreślimy odcinki ewolwent dla wszystkich punktów przecięcia linii prądu z krawędzią łopatk. Gdy punkt  $O$  przecięcia tworzącej stożka zastępczego z osią turbiny leży poza granicami rysunku lub w nieskończoności, stożek zastę-

pujemy walcem. W tym przypadku zarówno rozwinięcie koła podstawy, jak i sama ewolwenta, staną się linjami prostymi. Podziałkę wirnika  $t$  odmierzamy wówczas bezpośrednio na kierunku prędkości obwodowej, zaś długość odcinka ewolwenty oraz rzuty punktów jej podziału na płaszczyznę rysunku wyznaczamy zapomocą rzutowania prostokątnego.

Wreszcie, łączymy punkty  $a'_1, b'_1, c'_1, \dots, a'_2, b'_2, c'_2, \dots$  i t.d. linjami łagodnie zakrzywionymi. Linje te możemy zdefiniować, jako cylindryczne rzuty na płaszczyznę rysunku linii rzeczywiście nakreślonych na łopatkach o ewolwentowych krzywiznach krawędzi wyjściowej. Ostatnia z nich łączy punkty leżące naprzeciwko krawędzi łopatki następnej.

Przystąpimy teraz do wykreślenia drugiego rzutu łopatki na płaszczyznę prostopadłą do osi turbiny, który w dalszym ciągu będziemy nazywali krótko rzutem poziomym.

Należy najpierw wykreślić poziomy rzut opisanego wyżej szkieletu geometrycznego, a więc rzut krawędzi wyjściowej oraz rzuty ewolwent i linii łączących punkty ich podziału na równe odcinki.

Wirniki konstruujemy zazwyczaj w ten sposób, aby krawędź wyjściowa łopatki leżała całkowicie w płaszczyźnie osiowej. Rzutem poziomym tej krawędzi będzie



więc odcinek prostej przecinającej oś turbiny. Długość jego  $A_1''F_1''$  znajdziemy z łatwością odmierzając odległości punktów  $A_1$  i  $F_1$  od osi bezpośrednio na rysunku profilowym. W ten sam sposób wyznaczymy rzuty  $B_1'', C_1'', D_1'', E_1''$  końcowych punktów krawędzi  $B_1, C_1, D_1$  i  $E_1$ .

Należy z kolei wykreślić rzuty poziome ewolwent. Korzystamy tutaj z twierdzenia, że rzutem na płaszczyznę prostopadłą do osi stożka ewolwenty, narysowanej na jego powierzchni bocznej, jest również ewolwenta. Ponieważ zaś ewolwenty łopatki są styczne do kierunków prędkości względnych  $W_2$  w punktach

$A_1, B_1, C_1, D_1, E_1$  i  $F_1$ , zatem i rzuty tych krzywych muszą być styczne do rzutów poziomych tych kierunków odpowiednio w punktach  $A_1'', B_1'', C_1'', D_1'', E_1''$  i  $F_1''$ . Rzuty wektorów prędkości obwodowych prostopadłych do płaszczyzny osiowej będą miały oczywiście wielkości naturalne, zaś rzuty  $C_2''$  wektorów prędkości  $C_2$  znajdziemy na rysunku profilowym jako rzuty na kierunek prostopadły do osi turbiny. Zapomocą odejmowania wektorów wyznaczymy wreszcie kierunki rzutów prędkości względnych  $W_2''$ , poczem wykreślamy ewolwentę w sposób opisany poprzednio.

Rzuty poziome  $a_1'', a_2'' \dots b_1'', b_2'' \dots$  i t.d. punktów podziału ewolwent znajdziemy na rzutach poziomych

tych krzywych przy pomocy rzutowania cyklicznego t.j. w przecięciu z łukami kół, zatoczonych z punktu  $\Omega$  jako środka promieniami równymi odpowiednio odległościom tych punktów od osi turbiny, odmierzoną na rysunku profilowym. Zespół linii łączących rzuty  $a_1'', b_1'', c_1'' \dots a_2, b_2, c_2 \dots$  i t.d. stanowi oczywiście poziomy rzut wspomnianego wyżej szkieletu łopatki.

Rzuty poziome ewolwent możemy zbudować w inny jeszcze sposób, mianowicie zapomocą kolejnego wyznaczenia rzutów  $a_1'', a_2'' \dots b_1'', b_2'' \dots$  i t.d. punktów  $a_1, a_2 \dots b_1, b_2 \dots$  i t.d. Rzuty te /w myśl przyjętych metod rzutowania/ leżą na obwodach kół zatoczonych z punktu  $\Omega$  jako środka promieniami równymi odpowiednio odległościom rzutów  $a_1', a_2', a_3' \dots$  i t.d. od osi turbiny.

Przesuńmy przez punkty podziału ewolwenty szereg płaszczyzn osiowych; ślady przecięć tych płaszczyzn z powierzchnią boczną stożka tworzą w jej rozwinięciu pęk prostych przechodzących przez punkty  $a_1, a_2 \dots$  i t.d. oraz punkt  $O$ . Również w rzucie poziomym przecięcia płaszczyzn osiowych z płaszczyzną poziomą rysunku dadzą pęk prostych przechodzących przez rzuty tych punktów i punkt  $\Omega$ .

Znajdujemy punkt  $A_1''$  i zataczamy łuk koła, na któ-



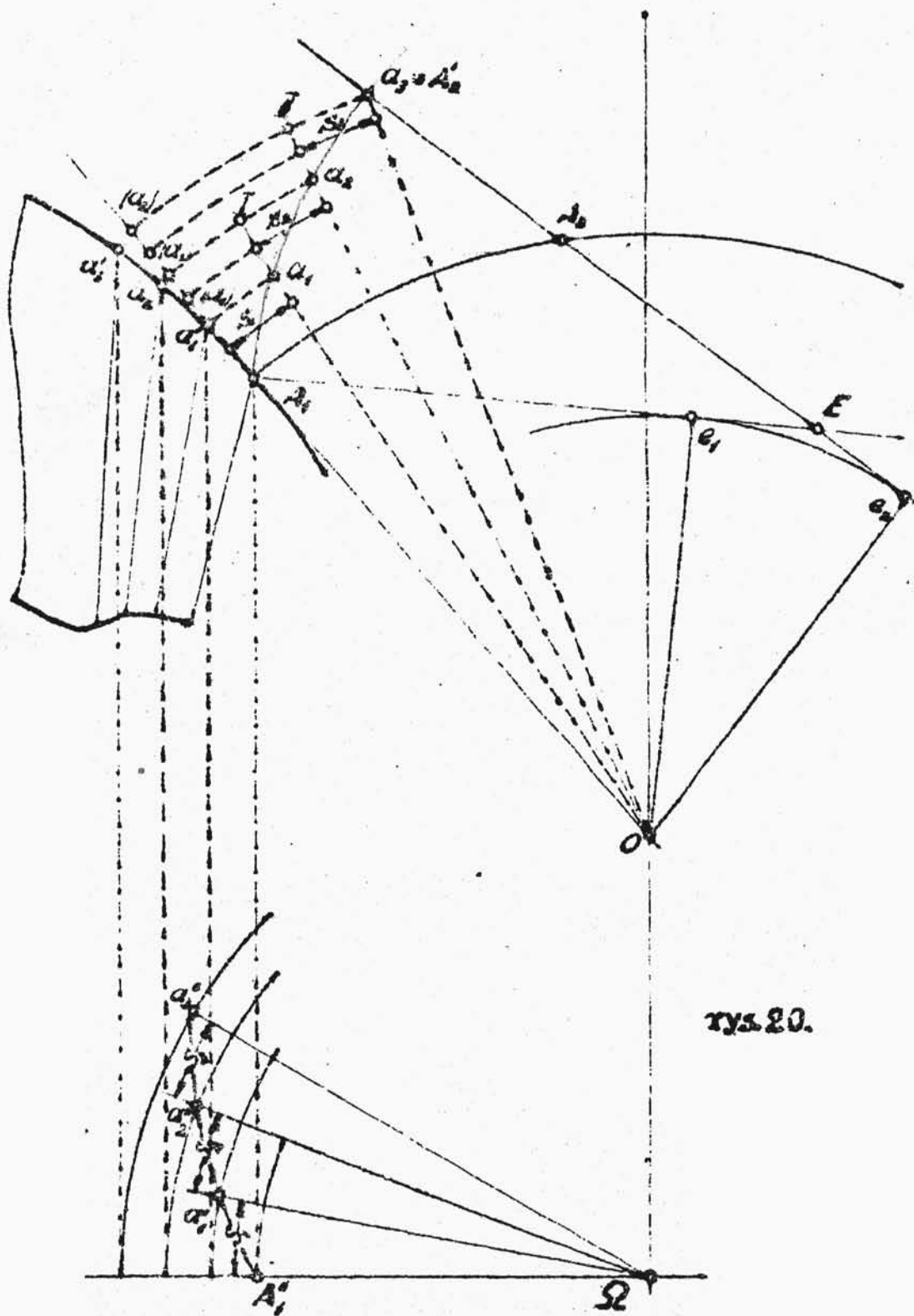
rym winien leżeć rzut następnego punktu ewolwenty t.j.  $\alpha_1''$ ; na obwodzie tym odmierzamy od krawędzi łopatkki łuk  $(\alpha_1'')\alpha_2'' = (\alpha_1')\alpha_1$ , a następnie przezeń oraz przez punkt  $\Omega$  prowadzimy prostą aż do przecięcia z kołem rzutującym cyklicznie punkt  $\alpha_2$  i, odmierzając na nim od punktu przecięcia odcinek łuku  $I\alpha_2'' = I\alpha_2$ , znajdujemy rzut  $\alpha_2''$  i t.d.

Z opisanych dwu metod, wektorowej i punktowej, najczęściej stosujemy drugą, pierwsza bowiem daje dobre wyniki tylko wtedy, gdy dzięki dostatecznie dużemu stosunkowi  $\frac{C_1'}{V_2}$  możemy dokładnie wykreślić koło rozwijane ewolwenty.

Należy jednak zwrócić uwagę na to, że metoda punktowa nie zawsze może być stosowaną w sposób opisany wyżej, który tylko wtedy daje dobre wyniki, gdy tworząca leja strugi kształtem swym niezbyt odbiega od tworzącej stożka zastępczego lub też, gdy kąt wierzchołkowy stożka jest bardzo mały, o ile dla uproszczenia stożek zastępujemy walcem.

Wobec tego lepiej jest stosować konstrukcję następującą /rys.20/.

Z punktu  $\Omega$  jako środka wykreślamy szereg łuków, rzutujących cyklicznie punkty  $A_1, \alpha_1, \alpha_2, \alpha_3$ , oraz szereg łuków pośrednich. Z punktu  $O$  zataczamy również szereg łuków pośrednich względem wykreślonych już przez



punkty  $(\alpha_1), (\alpha_2)$  i  $(\alpha_3)$ . Odcinek łuku  $S_1$  odmierzamy w rzucie poziomym na kole pośrednim od krawędzi łopatk, a następnie przez jego koniec oraz punkt  $S$  prowadzimy prostą. Punkt przecięcia tej prostej z łukiem koła, na którym powinien leżeć rzut punktu

$\alpha_2$  będzie właśnie tym rzutem t.j.  $\alpha_2''$ . W ten sam sposób znajdujemy rzuty pozostałych punktów ewolwenty.

Konstrukcja powyższa jest identyczną z opisaną poprzednio w przypadku, gdy powierzchnię strugi stanowi powierzchnia stożka. Ponieważ jednak kompensuje ona jednocześnie w pewnym stopniu błąd tkwiący w upraszczających zadanie założeniach, przeto należy ją stosować zawsze, gdy stożek zastępczy kształtem swym różni się znacznie od rzeczywistej powierzchni strugi, a tembardziej wtedy, gdy w rozwinięciu jego powierzchni rysujemy pozostałą część krzywizny łopatk, jak np. odcinek krzywej  $f_5 F_0$ .

Linje łączące punkty  $\alpha_1'', b_1'', c_1'', \alpha_2'', b_2'', c_2''$  i t.d. są oczywiście poziomymi rzutami linij łączących punkty podziału ewolwent na równe odcinki.

Gdybyśmy teraz chcieli odtworzyć kształt łopatk w przestrzeni, korzystając z opisanych wyżej konstrukcyj geometrycznych, to, pomijając związane z tem trudności, moglibyśmy zrobić model tylko jej

części wyjściowej. Pozostaje jeszcze nierozstrzygnięta sprawa krawędzi wejściowej oraz części środkowej powierzchni łopatek.

Teoria stawia tylko jeden warunek, mianowicie ten, aby krawędź wejściowa w każdym punkcie posiadała kąty właściwe, określone ruchem wody w wirniku. Doświadczenie uczy nadto, że przestrzenie między łopatkami powinny stanowić przewody możliwie krótkie i łagodnie zakrzywione, że więc łopatki muszą posiadać krzywizny zmienne od punktu do punktu, w sposób zupełnie ciągły, bez żadnych wklęsłości lub wypukłości. Te dwa postulaty teorii i praktyki wespół z opisaną wyżej teorią ewolwentowych krzywizn krawędzi wejściowej stanowią zasady konstrukcji.

Wyznamy obecnie pozostałe nieznane elementy t.j. kąty  $\beta_1$  oraz ich rzuty poziome  $\beta_1''$  we wszystkich punktach przecięć krawędzi wejściowej z linjami prądu lub właściwiej z powierzchniami strug.

W tym celu wróćmy do rozdz.5 rys.18. Widzimy, że kąt  $\beta_1$  możemy wyznaczyć z łatwością przy pomocy trójkąta znanych nam wektorów  $C_{r1}$  i  $(V_1 - C_{p1})$ . Trójkąt ten leży w płaszczyźnie stycznej do powierzchni strugi, jego zaś rzut na płaszczyznę prostopadłą do osi turbiny wyznaczy szukany rzut poziomy kąta

$\beta_1$ . Wektor obwodowy  $(V_1 - C_{p1})$  leży w płaszczyźnie równoległej do płaszczyzny rzutu poziomego, przy rzutowaniu więc zachowuje swą wielkość naturalną. Natomiast rzut poziomy wektora  $C_{r1}$  znajdziemy, rzutując go na kierunek prostopadły do osi. Robimy więc następujące konstrukcje:

Od punktów  $A'_0, B'_0, C'_0$  i t.d. odmierzamy na stycznych do linii prądu odpowiednie wektory składowych

$C_{r1}$  /z wykresu/, zaś w kierunku równoległym do osi turbiny różnice wektorów  $(V_1 - C_{p1})$  czyli poprostu różnice rzędnych wykresów prędkości obwodowej  $V_1$  i składowej  $C_{p1}$ . Znajdujemy rzuty poziome  $C''_{r1}$  wektorów  $C_{r1}$  na kierunki prostopadłe do osi turbiny, a przechodzące odpowiednio przez punkty  $A'_0, B'_0, C'_0$  i t.d., poczem łączymy końce tych rzutów z końcami wektorów  $(V_1 - C_{p1})$ , wyznaczając w ten sposób rzuty poziome prędkości względnych  $W_1$ . Kąt zawarty między kierunkiem każdego z wektorów  $W_1$ , a kierunkiem prędkości obwodowej, stanowi poziomy rzut kąta  $\beta_1$ .

Odmierzmy jeszcze w kierunku rzutu  $C''_{r1}$  naturalną długość wektora  $C_{r1}$  i połączmy jego koniec z końcem wektora  $(V_1 - C_{p1})$ . Prosta, łącząca oba końce, jest oczywiście prawdziwą długością wektora  $W_1$ , zaś kąt zawarty między nim, a kierunkiem prędkości obwodowej posiada wielkość naturalną kąta  $\beta_1$ .



Linje prądu wykreślone na rysunku profilowym, jako linje przecięcia lejowatych powierzchni strug z płaszczyzną rysunku, stanowią nadto rzuty cylindryczne linii przenikania tych powierzchni z powierzchnią łopatki. Wiemy już, że linje te w pobliżu krawędzi wyjściowej są rzutami cylindrycznymi narysowanych na łopacie ewolwent. Obecnie zaprojektujemy pozostałe części tych linii w ich rzucie poziomym, łącząc odcinki poziomych rzutów ewolwent z rzutem krawędzi wejściowej.

Na rysunku profilowym zarys łopatki stanowią: krawędź wyjściową, cylindryczny rzut krawędzi wejściowej oraz także rzuty dwu krańcowych linii przenikania powierzchni strug z powierzchnią łopatki. Podobnie kontur rzutu poziomego będzie się składał z poziomych rzutów tych samych elementów.

Jedną z dwu krańcowych powierzchni strug jest powierzchnia dolnego pierścienia wirnika, którą przy konstrukcji ewolwenty zastępujemy często powierzchnią walcową, dzięki czemu ewolwenta w rozwinięciu posiada kształt linii prostej. Wyjątek stanowią wirniki bardzo wolnobieżne, w których pierścienie dolne mają powierzchnie sferyczne, zaś tworzące stółka zastępczego przecinają oś turbiny w granicach rysunku.



Przedłużmy prostolinjową część rzutu linii przenikania  $F_1 F'_0$  /względnie tworzącą stożka zastępczego, jeżeli wirnik jest wolnobieżny/ i wyprostujmy jej część pozostałą na tem przedłużeniu. Wtedy punkt  $F'_0$  wyznaczy nam nowy punkt  $(F_0)$ . Z punktu tego prowadzimy prostą prostopadłą do linii  $F_1 (F_0)$ , poczem obieramy na niej dowolnie punkt  $F_0$ , tak jednak, aby móc połączyć go z odcinkiem ewolwenty  $F_1 f_5$  zapomocą łagodnej krzywej, przecinającej prostą  $(F'_0) F_0$  pod żądanym kątem  $\beta_1$ . W ten sposób powstaje linja  $F_1 F_0$ , która jest rozwinięciem całej krzywizny łopatkki wzdłuż powierzchni dolnego pierścienia wirnika. Wykreślenie poziomego rzutu dorysowanej części tej linii nie następuje żadnych trudności, jeżeli zastosujemy metodę punktową, opisaną poprzednio przy wyznaczaniu rzutów poziomych ewolwent.

Z kolei omówimy kształty krawędzi wejściowej, które poniekąd określa już sam charakter wirnika, a więc jego profil.

Obserwując rozwój profilów na tabl. I, widzimy, że w wirnikach wolnobieżnych, a nawet i średnio-bieżnych rzuty cylindryczne krawędzi wejściowych tworzą linje proste równoległe do osi turbiny. - Same krawędzie zatem leżą na powierzchni walca

o średnicy równej średnicy wirnika  $D_2$  i mogą tworzyć dowolną linię narysowaną na tej powierzchni. Z pośród wielu możliwości wybieramy oczywiście najprostsze, dając krawędziom wymienionej grupy wirników kształty linii prostej bądź równoległej do osi turbiny, bądź też nawiniętej na powierzchnię walca czyli linii śrubowej. Rzuty poziome będą odpowiednio punktem lub łukiem koła o średnicy .

Krawędzie wejściowe wirników szybkoobrotowych, jak to widać z rysunków profilowych, nie leżą zupełnie na powierzchni walca i mogą tworzyć dowolne krzywe płaskie bądź przestrzenne. I tu jednak, dążąc do kształtów jaknajprostszych, dajemy często krawędzi postać krzywej, leżącej w płaszczyźnie równoległej do osi turbiny. Poziomy rzut takiej krawędzi będzie oczywiście linią prostą /patrz Tabl.III/.

W wirnikach w ogólnym uszeregowaniu niezbyt oddalonych od grupy średniobrotowych, krawędzie wejściowe mogą mieć postać złożony z dwu elementów, np. leżących w jednej płaszczyźnie linii prostej równoległej do osi turbiny i krzywej łączącej tę prostą z pierścieniem dolnym. Na rysunku profilowym kształt takiej krawędzi jest podobny do kształtu krawędzi wirnika średniobrotowego, rzut poziomy natomiast tworzą odpowiednio punkt i prosta.

Inne rozwiązanie może tu stanowić np. zespół złożony z odcinka dowolnej krzywej /profil średniobieżny, odcinek  $a-b$  - Tabl.III/ oraz linii śrubowej ( $b-c$ ).

Poza wymienionemi postaciami prostymi lub złożonemi, krawędzie wirników bardzo szybkobieżnych mogą posiadać kształty dowolnych linii przestrzennych, tworzących w rzucie poziomym linie łagodnie zakrzywione.

Istnieje tu, jak widzimy, wiele możliwości, przyczem rozwój kształtów krawędzi wejściowej idzie w parze z rozwojem profilów wirników.

O wyborze kształtu krawędzi i jej wielkości decyduje więc przedewszystkiem profil wirnika, następnie zaś kształt i wielkość samej łopatki, uwarunkowane ze swej strony postacią ewolwent tworzących krawędź wyjściową.

Zależnie od postaci krawędzi wejściowej rysujemy jej rzut poziomy  $F_0 A_0''$  i zamykamy kontur rzutu łopatki łagodną linią krzywą, styczną do prostej, tworzącej z kierunkiem prędkości obwodowej w punkcie  $A_0''$  kąt  $\beta_1''$ , wyznaczony poprzednio na rysunku profilowym.

Ponieważ długości krawędzi wejściowej oraz granicznej linii przenikania powierzchni łopatki z po-

wierzchnią strugi w pozostałej poza ewolwentą części są dowolne, przeto tak należy je zaprojektować w rzucie poziomym, aby łopatką nie wypadła zbyt znacznie wydłużona i nie posiadała zbyt gwałtownie zmienionych krzywizn. W tym celu również, o czym zresztą była już mowa w rodz.3-im, opuszczamy często ewolwenty nieco wcześniej, pozostawiając jednak łopatkę kształt teoretyczny na pewnej przestrzeni przy samej krawędzi wyjściowej.

Zapomocą rzutowania cyklicznego znajdujemy na rzucie poziomym krawędzi wejściowej rzuty pozostałych punktów przecięcia jej z powierzchniami strug t.j. punkty  $B_o''$ ,  $C_o''$ ,  $D_o''$ ... i t.d. Następnie, podobnie jak dla punktu  $A_o''$ , wykreślamy z tych punktów proste o kierunkach rzutów odpowiednich prędkości względnych t.j.  $w_1''$ . Proste te, jako styczne do poziomych rzutów linii przenikania w punktach  $B_o''$ ,

$C_o''$ ,  $D_o''$ .... i t.d. określają kierunek tych linii w pobliżu krawędzi. Pozatem jednak możemy linie przenikania wyrysować zupełnie dowolnie, zarówno bowiem one, jak i opisany wyżej kontur, mogą ulegać zmianom przy ostatecznym kształtowaniu powierzchni łopatkki z pomocą rysunku warstwicowego.

Obecnie możemy już przystąpić do przygotowania właściwego rysunku warsztatowego, służącego do wyko-

niania modelu łopatki.

Poprowadźmy mianowicie w jednakowych odstępach szereg płaszczyzn prostopadłych do osi turbiny. Na rysunku profilowym będzie to szereg prostych również do osi prostopadłych. W przecięciu z powierzchnią łopatki płaszczyzny te dadzą linje krzywe, których zespół stworzy w rzucie poziomym rysunek topograficzny, podobny do rysunków warstwicznych używanych w kartografji. Podług tego rysunku modelarz wycina z desek o grubości równej odstępom między płaszczyznami /grubość desek zależy wogóle od wielkości wirnika/ szereg krzywek, które po sklejeniu i wygładzeniu odtworzą przestrzenny kształt łopatki.

Do wykonania rysunku warstwicowego posłużą nam przygotowany już szkielet geometryczny. Rzuty cylindryczne punktów przecięcia płaszczyznami warstwicowymi linii narysowanych na łopacie są to punkty przecięcia śladów tych płaszczyzn na płaszczyźnie rysunku profilowego z rzutami cylindrycznymi linii łączących punkty podziału ewolwent na równe odcinki. Rzuty poziome zaś znajdujemy przy pomocy rzutowania cyklicznego na odpowiednich rzutach poziomych tych samych linii. A więc np. warstwicę Nr.12 wyznaczają punkty 1', 2', 3', 4', 5" oraz

odpowiednie rzuty poziome 1", 2", 3", 4" i 5".

Również punkty przecięcia płaszczyzn z ewolwentami leżą na krzywych warstwicowych. Rzutami cylindrycznymi takich punktów warstwicy Nr.12 są punkty 6', 7', 8' i 9'. Aby znaleźć ich rzuty poziome 6", 7", 8" i 9" należy najpierw odszukać te punkty na rysunku profilowym w rozwinięciu odpowiednich ewolwent, poczem zastosować metodę punktową, jak przy konstrukcji tych krzywych w rzucie poziomym.

W ten sposób możemy skonstruować warstwicę tylko w obrębie ewolwentowych krzywizn krawędzi wyjściowej, a więc warstwicę Nr.11, 12, 13 - całkowicie, pozostałe zaś tylko na małej przestrzeni w pobliżu samej krawędzi.

Przy pomocy rzutowania cyklicznego wyznaczamy jeszcze rzuty poziome punktów przecięcia wszystkich płaszczyzn warstwicowych z krawędzią wejściową, poczem szkicujemy brakujące części warstwicy, kierując się narazie wzrokową oceną przypuszczalnych kształtów łopatki oraz charakterem krzywych wykonanych już całkowicie. W części łopatki odsuniętej nieco od krawędzi wyjściowej porzucamy przytem często konstrukcję teoretyczną, korygując warstwicę w ten sposób, aby łopatka w każdym kierunku miała krzywizny możliwie łagodne.



Równie ważnem, jak zachowanie ewolwentowych krzywizn krawędzi wyjściowej łopatkki, jest zapewnienie krawędzi wejściowej właściwych kątów  $\beta_1$ . W tym też celu w pobliżu tej krawędzi sprawdzamy, a następnie poprawiamy warstwicę tak, aby leżące na nich rzuty poziome punktów przecięcia płaszczyzn warstwicowych z torami względnymi cząstek wody wzdłuż łopatkki /t.j. linjami przenikania powierzchni strug z powierzchnią łopatkki/ stanowiły linie ciągłe styczne do wykreślonych poprzednio kierunków  $W_1''$ .

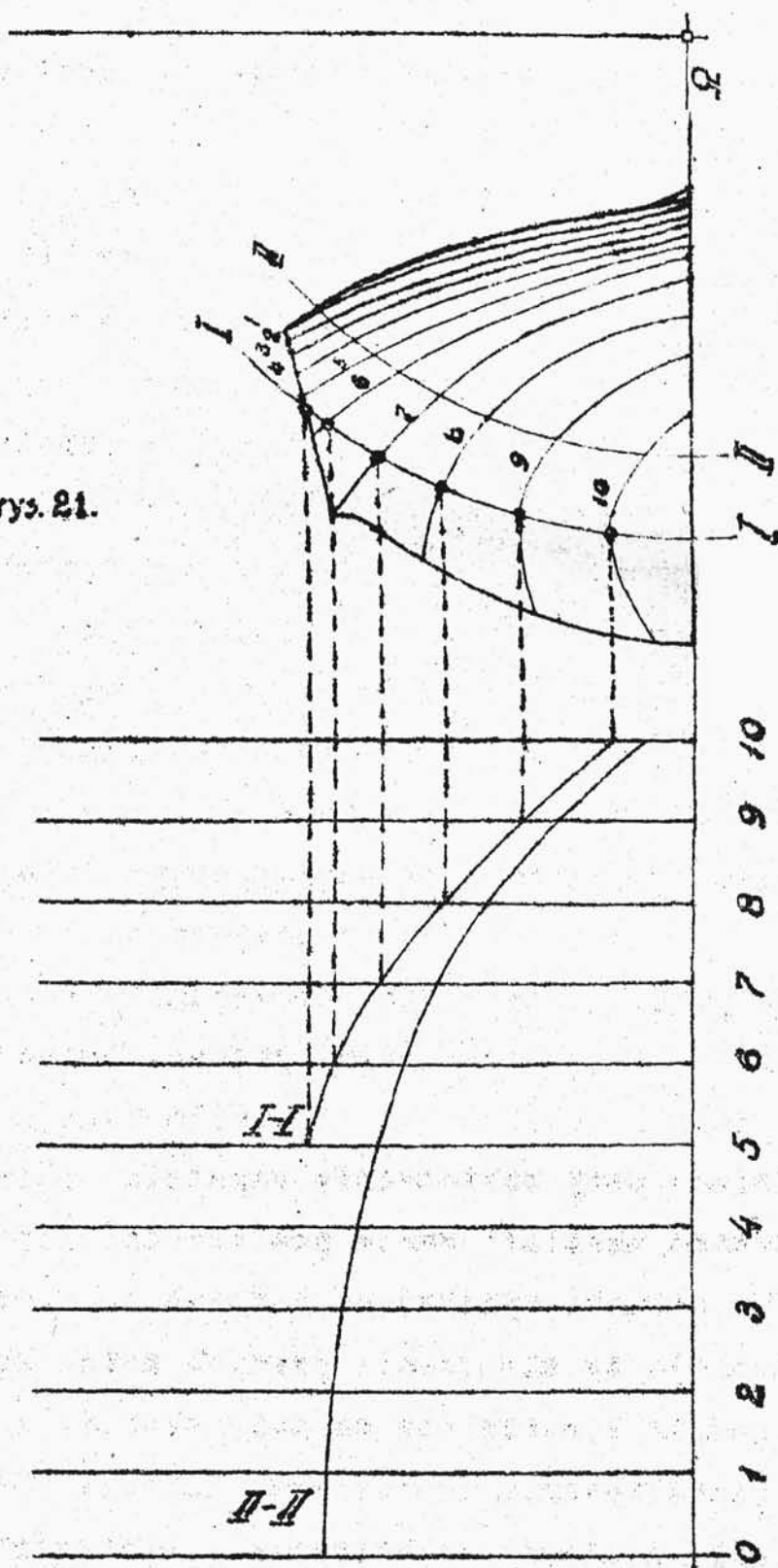
Profesor St. Zwierzchowski poleca w tym celu następującą konstrukcję pomocniczą. Odcinki prostych o kierunkach rzutów prędkości względnych t.j.  $W_1''$  w pobliżu krawędzi uważamy za końce rzutów krzywizn łopatkki wzdłuż powierzchni strug, wobec czego możemy określić położenie rzutów poziomych punktów przecięcia płaszczyzn warstwicowych z temi krzywiznami, posługując się, jak zwykle, rzutowaniem cyklicznym. Jako przykład może służyć warstwica Nr.7, której kierunek w pobliżu krawędzi określają punkty  $o''$  i  $p''$  odpowiadające punktom  $o'$  i  $p'$  na rysunku profilowym.

Szkicując warstwicę na oko, nie mamy żadnej gwarancji, czy powierzchnia łopatkki w każdym miejscu

posiada krzywizny zupełnie łagodne, a nawet czy nie pozbawiona jest wyraźnych wklęsnięć lub wypukleń. Jako sprawdzian dokładności rysunku mogą służyć dowolne przekroje łopatkı np. osiowe lub cylindryczne. Najlepiej nadają się do tego celu drugie t.j. przekroje powierzchniami wałców współosiowych z wirnikiem turbiny. Do celów konstrukcyjnych posługujemy się rzutami tych przekrojów na płaszczyznę prostopadłą do płaszczyzny rysunku profilowego i równoległą do osi turbiny. Wykreślanie ich nie następuje żadnych trudności, jeżeli zrobimy kład płaszczyzny rzutów na płaszczyznę rzutu poziomego. Rysujemy mianowicie szereg prostych, odpowiadających płaszczyznom warstwiowym /rys.21/, jak na rysunku profilowym i rzutujemy na te proste wszystkie punkty przecięcia odpowiednich warstw z okręgami kół, jako poziomymi rzutami przekrojów cylindrycznych. Konstrukcja ta, uwidoczniając błędy popełniane przy szkicowaniu warstw, pozwala na ostateczne ukształtowanie powierzchni łopatki.

Chociaż warunki wynikające z rozważań teoretycznych pozwalają na stworzenie pewnych metod konstrukcji, to jednak konstruktor ma dużo swobody w ostatecznym kształtowaniu powierzchni łopatki. Smak konstruktorski, zdolność odtwarzania w wyobraźni prze-

rys. 21.



strzennych kształtów przedmiotu z płaskiego rysunku i doświadczenie daje rękojmię racjonalnego wykonania projektu. -

i 2/ krzywe warstwiczne jednakowych sprawności