

C Z Ę Ś Ć II.

Każdy wirnik turbiny wodnej charakteryzują pewne stałe dlań wielkości jak np. wzajemne stosunki wymiarów, a więc przedewszystkiem stosunek wymiarów głównych $\frac{B_1}{D_1}$, kąty krawędzi wejściowej i wyjściowej, charakterystyka typu n_s i t.p. Teoria turbin, łącząc niektóre z tych wielkości w stałe charakterystyczne, podaje następujące zależności:

$$D_1 n_1 = K_n \dots \dots \dots \text{I}$$

$$K_Q D_1^2 = Q_1 \dots \dots \dots \text{II}$$

$$K_H D_1^2 = H_1 \dots \dots \dots \text{III}$$

przyczem K_n , K_Q i K_H są właśnie stałymi charakterystycznymi wirnika, zaś n_1 , Q_1 i H_1 są to zredukowane wartości liczby obrotów, wydatku i mocy. Matematyczne definicje tych ostatnich są następujące:

$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}} \dots \dots \dots \text{IV}$$

$$Q_1 = \frac{Q}{\sqrt{H}} \dots \dots \dots \text{V}$$

$$H_1 = \frac{HP}{H\sqrt{H}} \dots \dots \dots \text{VI}$$

/Uzasadnienie podanych wzorów oraz szczegółowe definicje znajdzie czytelnik w skrypcie wykładów prof.St.Zwierzchowskiego/.

Wirnik zbudowany poddany zostaje próbom, mającym na celu ustalenie jego sprawności, zależnie od warunków pracy, a więc otwarcia łopatek zasilających /zużycie wody Q /, wysokości spadku wody H oraz obciążenia. Wyniki liczbowe ujęte w tablice /patrz skrypt wykład.prof.St.Zwierzchowskiego/ pozwalają na graficzną interpretację zależności trzech zmiennych HP , n_1 i η w postaci warstwicowego rysunku t.zw. pagórka sprawności. Wykres taki w układzie HP i n_1 zawiera dwa rodzaje krzywych:

- 1/ krzywe zależności $HP_1 = f(n_1)$ dla różnych otworów między łopatkami zasilającymi,
- i 2/ krzywe warstwicowe jednakowych sprawności

wirnika.

Dla instalującego turbinę wodną ważną rzeczą jest gwarancja uzyskania żądanej mocy i liczby obrotów z zachowaniem dobrej sprawności we wszystkich porach roku, a więc zarówno na wiosnę i w jesieni, kiedy wody jest pod dostatkiem, natomiast spadki są małe, jak i w lecie, kiedy spadki są duże. Rozróżniamy odpowiednio wysokości spadku wody: najmniejszą - H_{min} , normalną /t.j. zachodzącą najczęściej/ - H_{norm} , i największą - H_{max} .

Obraz pracy turbiny w powyższych warunkach dają t.zw. krzywe gwarancyjne

$$\eta = f(H) \quad \text{przy } H = \text{const.}$$

lub też krzywe

$$\eta = f(N)$$

gdy chodzi o pracę turbiny z zachowaniem stałej mocy.

Mamy więc następujące zagadnienie: dane są krzywe sprawności /pagórek sprawności/ turbiny, która pracować ma przy trzech różnych spadkach:

$$H_{min}, H_{norm} \text{ i } H_{max}.$$

ze stałą liczbą obrotów n ; wykreślić dla tych warunków krzywe gwarancyjne. Przedewszystkiem obliczamy zredukowane liczby obrotów przy trzech wymienionych wysokościach spadku, czyli

$$(n_2)_{Hmin}, (n_1)_{Hnorm}, (n_1)_{Hmax}.$$

Następnie tnjemy nasz pagórek zapomocą trzech rzędnych odpowiadających tym trzem wartościom n_1 i, odczytując w punktach przecięcia rzędnych z warstwicami wykresu wartości η oraz HP , obliczamy odpowiednie HP ze wzoru VI. Dane liczbowe układamy w tablicę:

$Hmin, n_1(Hmin)$			$Hnorm, n_1(Hnorm)$			$Hmax, n_1(Hmax)$		
η	HP	HP	η	HP	HP	η	HP	HP

Korzystając z powyższej tabeli budujemy wreszcie dla wszystkich trzech spadków H krzywe

$$\eta = f(HP)$$

Przedsiębiorstwa przemysłowe, budujące turbiny wodne /zwłaszcza w Ameryce/, dążąc do produkcji seryjnej lub masowej, normalizują wirniki określonych typów pod względem wymiarów. A więc wirnik nowy, którego badanie wykazało wysoką sprawność i korzystne krzywe charakterystyczne, służy jako wirnik wzorcowy dla produkcji innych podobnych mu wirników. Pod nazwą podobieństwa na-

leży tu rozumieć tożsamość wszystkich charakterystyk, stosunków wymiarów oraz kątów. Sprawności wirników podobnych, zachowują teoretycznie wartości sprawności wirnika wzorcowego, oraz podobieństwo krzywych charakterystycznych. Zbędnem zatem staje się badanie wszystkich wirników podobnych jednej serii w celu określenia ich krzywych charakterystycznych i gwarancyjnych, gdy mamy wyniki badań wirnika wzorcowego.

W myśl określenia podobieństwa wszystkie wirniki jednej serii posiadają jednakowe wartości charakterystyczne t.j.

$$n_s = \text{const.}$$

$$K_n = \text{const.}$$

$$K_Q = \text{const.}$$

$$K_{\mu} = \text{const.}$$

Dla dwu wirników podobnych \dot{A} i B możemy przeto, korzystając z powyższej okoliczności, oraz wzorów I, II i III napisać:

$$\frac{D_{1A}}{D_{1B}} = \frac{n_{1B}}{n_{1A}} \dots \dots \dots \text{VII}$$

$$\frac{D_{1A}^2}{D_{1B}^2} = \frac{Q_{1A}}{Q_{1B}} \dots \dots \dots \text{VIII}$$

$$\frac{D_{1A}^2}{D_{1B}^2} = \frac{H_{1A}}{H_{1B}} \dots \dots \dots \text{IX}$$

lub, biorąc nadto pod uwagę zależności IV, V i VI:

$$\frac{n_A}{n_B} = \frac{\sqrt{H_A}}{\sqrt{H_B}} \cdot \frac{D_{1B}}{D_{1A}} \dots \dots \dots \text{X}$$

$$\frac{Q_A}{Q_B} = \frac{\sqrt{H_A}}{\sqrt{H_B}} \cdot \frac{D_{1A}^2}{D_{1B}^2} \dots \dots \dots \text{XI}$$

$$\frac{H_A}{H_B} = \frac{H_A \cdot \sqrt{H_A}}{H_B \cdot \sqrt{H_B}} \cdot \frac{D_{1A}^2}{D_{1B}^2} \dots \dots \dots \text{XII}$$

Istotę projektowania turbin na podstawie danych wirnika wzorcowego, względnie wyboru, spośród znormalizowanych jednego typu, wirnika odpowiedniego dla warunków danych, wyjaśni najlepiej szeregi zamieszczonych w dalszym ciągu przykładów.

Z a d a n i e 1.

Wirnik wzorcowy o średnicy $D_{1w} = 500$ mm. pracuje normalnie przy spadku $H_w = 4$ m. z $n_w = 120$ obrotów na minutę. Obliczyć średnicę wirnika tego samego typu dla spadku $H = 9$ m. i $n = 300$ obr. na min.

Zredukowana liczba obrotów wirnika wzorcowego:

$$n_{1w} = \frac{n_w}{\sqrt{H_w}} = \frac{120}{\sqrt{4}} = 60$$

zaś także liczba wirnika projektowanego:

$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}} = \frac{300}{\sqrt{9}} = 100$$

Z zależności VII wyliczymy:

$$D_{1w} \cdot n_{1w} = D_1 \cdot n_1$$

$$D_1 = \frac{500 \cdot 60}{100} = 300 \text{ mm.}$$

Z a d a n i e 2.

Ten sam wirnik wzorcowy /zad.1/ zużywa

$Q_w = 1 \text{ m}^3/\text{sek.}$ wody. Ile wirników obliczonych wyżej należy instalować, aby wyzyskać całkowicie rozporządzalny wydatek wody $Q_o = 3 \text{ m}^3$ na sek.

Zredukowany wydatek wirnika wzorcowego:

$$Q_{1w} = \frac{Q_w}{\sqrt{H_w}} = \frac{1}{\sqrt{4}} = 0,5 \text{ m}^3/\text{sek., } H=1\text{m.}$$

zaś wirnika projektowanego:

$$Q_1 = \left(\frac{D_1}{D_{1w}} \right)^2 \cdot Q_{1w} = \left(\frac{300}{500} \right)^2 \cdot 0,5 = 0,18 \text{ m}^3/\text{sek., } H=1\text{m.}$$

Całkowity wydatek wody Q_o przy spadku $H=9\text{m.}$ po zredukowaniu go do wysokości spadku $H=1\text{m.}$ wy-

niesie:

$$Q_{10} = \frac{Q_0}{\sqrt{H}} = \frac{3}{\sqrt{9}} = 1 \text{ m}^3/\text{sek.}, H=1\text{m.}$$

Zatem liczba wirników:

$$V = \frac{Q_{10}}{Q_1} = \frac{1}{0,18} = 5,55$$

Należy zatem instalować 6 wirników; wszystkie te wirniki lub tylko ich część, będą pracowały przy niezupełnym otwarciu łopatek.

Liczbę wirników możemy obliczyć również w sposób następujący:

$$Q = Q_1 \sqrt{H} = 0,18 \cdot \sqrt{9} = 0,54$$

$$V = \frac{Q_0}{Q} = \frac{3}{0,54} = 5,55$$

Z a d a n i e 3.

Wirnik wzorcowy o średnicy $D_{1w}=960^{\text{mm}}$ rozwija przy spadku $H=16\text{m.}$ i $n_w=250$ obrotach na minutę moc normalną $HP=1000 \text{ K.M.}$

Ile wirników tego samego typu i o jakiej średnicy należy instalować przy spadku $H=9\text{m.}$ i $n=300$ obr. na min., aby uzyskać tę samą moc $HP=1000 \text{ K.M.}$

Przedewszystkiem obliczamy średnicę nowego wirnika. Jak poprzednio:

$$n_{1w} = \frac{250}{\sqrt{16}} = \frac{250}{4} = 62,5$$

$$n_1 = \frac{300}{\sqrt{9}} = \frac{300}{3} = 100$$

Nowa średnica:

$$D_1 = D_{1w} \cdot \frac{n_{1w}}{n_1} = 960 \cdot \frac{62,5}{100} = 600 \text{ mm.}$$

Zredukowana moc wirnika wzorcowego:

$$HP_1 = \frac{HP_w}{H_w \sqrt{H_w}} = \frac{1000}{16 \sqrt{16}} = 15,625$$

Ponieważ zredukowana moc jest w stosunku wprost proporcjonalnym do kwadratu średnicy, przeto, stosując zależność IX, znajdziemy:

$$HP_1 = HP_{1w} \cdot \left(\frac{D_1}{D_{1w}} \right)^2 = 15,625 \left(\frac{600}{960} \right)^2 = 6,1$$

Moc rzeczywista jednego wirnika:

$$HP = HP_1 \cdot H \sqrt{H} = 6,1 \cdot 9 \sqrt{9} = 165 \text{ KM.}$$

Tobac tego liczba instalowanych wirników:

$$V = \frac{1000}{165} = 6,06$$

Należałoby więc instalować 7 wirników, lub, rezygnując z niewielkiej różnicy, tylko 6. Można by również powiększyć nieco średnicę D_1 i w ten sposób uzyskać większą moc poszczególnych wirników, a tem samem mniejszą ich liczbę. Podobne zagadnie-

nie rozwiążemy nieco dalej.

Z a d a n i e 4.

Mamy krzywe sprawności wirnika wzorcowego typu Nr.1799 o średnicy $D_w = 638 \text{ mm.}$, pracującego z liczbą $n_w = 300$ obrotów na minutę. Wykreślić krzywe gwarancyjne wirnika tego samego typu o średnicy $D = 300 \text{ mm.}$, pracującego z liczbą $n = 400 \text{ obr. na min.}$, dla spadków: $H_{\min} = 9 \text{ m.}$, $H_{\text{norm}} = 12 \text{ m.}$, $H_{\max} = 14 \text{ m.}$

Przedewszystkiem należy obliczyć zredukowane liczby obrotów dla powyższych trzech spadków, mianowicie:

$$\text{dla } H_{\min} = 9 \text{ m.} - n_1 = \frac{400}{\sqrt{9}} = 133,3$$

$$\bullet \quad H_{\text{norm}} = 12 \text{ m.} - n_1 = \frac{400}{\sqrt{12}} = 115,4$$

$$\bullet \quad H_{\max} = 14 \text{ m.} - n_1 = \frac{400}{\sqrt{14}} = 107$$

Aby zbudować krzywe gwarancyjne tego wirnika na podstawie krzywych sprawności wirnika wzorcowego, musimy znaleźć zredukowane liczby obrotów tego ostatniego, odpowiadające takimże liczbom wirnika projektowanego, innymi słowy, zredukować dane do

wirnika wzorcowego.

Ponieważ oba wirniki są tego samego typu, przeto istnieje dla nich zależność:

$$n_{1w} \cdot D_{1w} = n_1 \cdot D_1$$

Zatem odpowiednie liczby n_{1w} będą:

$$\text{dla } H_{\min.} \quad - \quad n_{1w} = 133,3 \frac{500}{638} = 104,5$$

$$\text{„ } H_{\text{norm.}} \quad - \quad n_{1w} = 115,4 \frac{500}{638} = 90,5$$

$$\text{„ } H_{\max.} \quad - \quad n_{1w} = 107 \frac{500}{638} = 83,9$$

Tniemy następnie pagórek sprawności trzema rzędnymi, odpowiadającymi tym wartościom n_{1w} i odczytujemy wartości H_{1w} i η . W ten sposób znalezione liczby dotyczą jednak wirnika wzorcowego. Aby wyznaczyć odpowiednie wartości dla wirnika instalowanego, stosujemy zależność IX:

$$\frac{H_{1w}}{H_1} = \frac{D_{1w}^2}{D_1^2}$$

przy pomocy której obliczamy H_1 . Znajdujemy wreszcie moce rzeczywiste wirnika:

$$HP = H_1 \cdot H \cdot \sqrt{H_1}$$

które wraz z odpowiednimi wartościami η pozwolą na zbudowanie krzywych:

$$\begin{aligned}\eta &= f(H) & \text{przy } H_{\min} &= \text{const.} \\ \eta &= f(H) & \text{przy } H_{\text{norm}} &= \text{const.} \\ \eta &= f(H) & \text{przy } H_{\max} &= \text{const.}\end{aligned}$$

Z a d a n i e 5.

Użyć krzywych sprawności wirnika wzorcowego, opisanego w zadaniu 4-ym. do wyznaczenia krzywych gwarancyjnych wirnika o średnicy dwa razy większej i ilości obrotów $n = 150$ dla spadków H_{\min} , H_{norm} i H_{\max} .

Wobec tego, że średnica wirnika instalowanego jest dwa razy większa, zaś liczba obrotów dwa razy mniejsza, czyli

$$D_1 = 2D_{1w}$$

$$n = \frac{n_w}{2}$$

a więc

$$n_1 = \frac{n_{1w}}{2}$$

przeto:

$$n_{1w} D_{1w} = \frac{n_w}{2\sqrt{H}} \quad \text{lub} \quad n_{1w} = \frac{n_w}{\sqrt{H}}$$

Odczyty możemy więc robić bezpośrednio na rzędnych, odpowiadających zredukowanym liczbom obrotów wirnika wzorcowego t.j.

przy

$$H_{min} - n_{1w} = \frac{n_w}{\sqrt{H_{min}}}$$

$$H_{norm.} - n_{1w} = \frac{n_w}{\sqrt{H_{norm.}}}$$

$$H_{max.} - n_{1w} = \frac{n_w}{\sqrt{H_{max.}}}$$

Moc jednak wirnika instalowanego będzie cztery razy większa, bowiem:

$$H_1 = H_{1w} \cdot \left(\frac{D_1}{D_{1w}} \right)^2 = 4 H_{1w}$$

a więc i

$$P = 4 P_w$$

Z a d a n i e 6.

Dane są krzywe sprawności wirnika wzorcowego typu Nr.2121 o średnicy $D_{1w} = 660 \text{ mm}$.

Obliczyć turbinę wodną tego samego typu o mocy $H_0 = 6000 \text{ KM}$ stałej w ciągu całego roku i ilości obrotów na min. $n = 200$ oraz wykreślić krzywe gwarancyjne dla jednego wirnika. Wysokości spadków