

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

$$H = 4 H_w$$

#### 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

projektowanej stacji wynoszą:

$$H_{min} = 14m., H_{norm.} = 16m., H_{max.} = 20m.$$

-----

Obliczamy wartości charakterystyczne budowanej stacji:

$H$	$\sqrt{H}$	$H\sqrt{H}$	$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$
14	3,74	52,5	$\frac{200}{3,74} = 53,5$
16	4	64	$\frac{200}{4} = 50$
20	4,47	89,5	$\frac{200}{4,47} = 44,7$

Turbinę projektujemy dla warunków normalnych, najlepszą więc zredukowaną liczbą obrotów jest

$$n_{1opt} = 50$$

Najlepszą zaś zredukowaną liczbą obrotów wirnika wzorcowego, jak to wynika z wykresu sprawności, jest

$$n_{1w, opt} = 100$$

Projektowany wirnik powinien zatem posiadać średnicę:

$$D_1' = D_{1w} \cdot \frac{n_{1wopt}}{n_{1opt}} = 660 \cdot \frac{100}{50} = 1320 \text{ m/m.}$$

Ponieważ koniecznym warunkiem zadania jest, aby stacja przy najmniejszym spadku wody t.j.

$H_{min} = 14 \text{ m.}$  rozwijała pełną moc  $HP_0$ , przeto liczbę wirników obliczamy dla tych właśnie warunków.

Znajdujemy zredukowaną liczbę obrotów wirnika wzorcowego, odpowiadającą takiejże liczbie wirnika projektowanego przy spadku  $H_{min}$  t.j.

$$n_{1w(Hmin)} = n_{1(Hmin)} \cdot \frac{D_1}{D_{1w}} = 53,5 \cdot \frac{1320}{660} = 107$$

Tej wartości  $n_{1w}$  odpowiada na wykresie sprawności największa zredukowana moc  $HP_{1wmax} = 13,8$  lub przyjmując z pewnym zapasem,  $HP_{1wmax} = 13,5$

Odpowiednią zredukowaną moc wirnika instalowanego wyniesie:

$$\begin{aligned} HP_{1max}' &= HP_{1wmax} \cdot \left( \frac{D_1}{D_{1w}} \right)^2 = \\ &= 13,5 \cdot \left( \frac{1320}{660} \right)^2 = 54. \end{aligned}$$

oraz moc rzeczywista:

$$\begin{aligned} HP_{max}' &= HP_{1max}' \cdot HVH = \\ &= 54 \cdot 52,5 = 2835 \end{aligned}$$

Liczba wirników:

$$V = \frac{HP_0}{HP'} = \frac{6000}{2835} = 2,12$$

Choć więc uzyskać przy  $H_{min}$  pełną moc 6000 KM, musielibyśmy instalować 3 wirniki o średnicy zadużej, co powiększyłoby koszty instalacji. Wobec tego zależnie od wyników kalkulacji decydujemy się na instalowanie albo 3 wirników o średnicy wyliczonej wyżej /turbina nie będzie całkowicie wyzyskana/, bądź 3 wirników, lecz o średnicy zmniejszonej tak, aby turbina była wyzyskana całkowicie, lub wreszcie 2-oh wirników o średnicy zwiększonej o tyle, by turbina była w stanie rozwinać żadaną moc 6000 KM.

Obliczmy średnicę wirnika dla drugiego przypadku. Jeden wirnik powinien mieć moc równą:

$$HP'' = \frac{HP_0}{V} = \frac{6000}{3} = 2000 \text{ KM}$$

Moc zredukowana przy  $H_{min}$  wyniesie:

$$HP_1'' = \frac{HP''}{HVH} = \frac{2000}{52,5} = 38,1$$

Ponieważ oba wirniki t.j. zarówno o średnicy obliczonej poprzednio, jak i o średnicy zmniejszonej mają być jednego typu, przeto możemy napisać

dla nich zależność:

$$\frac{H_1''}{H_1'} = \left( \frac{D_1''}{D_1'} \right)^2$$

Z zależności tej wyliczymy nową średnicę,  
mianowicie:

$$\begin{aligned} D_1'' &= D_1' \sqrt{\frac{H_1''}{H_1'}} = \\ &= 1320 \sqrt{\frac{38,1}{54}} = 1110 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Odpowiednie zredukowane liczby obrotów wirnika  
wzorcowego będą wobec tego równe:

$$\text{przy } H_{\min.} - n_{1w} = 53,5 \frac{1110}{660} = 90$$

$$\text{" } H_{\text{norm.}} - n_{1w} = 50 \frac{1110}{660} = 84,2$$

$$\text{" } H_{\max.} - n_{1w} = 44,7 \frac{1110}{660} = 75,2$$

Przypuśćmy teraz, że chcemy instalować tylko  
dwa wirniki. W takim razie moc jednego wirnika  
wypadnie:

$$H'' = \frac{H_0}{2} = \frac{6000}{2} = 3000 \text{ KM.}$$

Moc zredukowana zaś:

$$H_1''' = \frac{3000}{52,5} = 57,2$$

Jak poprzednio średnica nowego wirnika będzie równa:

$$D_1''' = D_1' \sqrt{\frac{H_1'''}{H_1'}} = 1320 \sqrt{\frac{57,2}{54}} = 1360 \text{ mm.}$$

Zredukowane liczby obrotów wirnika wzorcowego odpowiadające tej średnicy wirnika projektowanego będą równe:

$$\text{przy } H_{\min.} - n_{1w} = 53,5 \cdot \frac{1360}{660} = 110.$$

$$\text{" } H_{\text{norm}} - n_{1w} = 50 \cdot \frac{1360}{660} = 103$$

$$\text{" } H_{\max.} - n_{1w} = 44,7 \cdot \frac{1360}{660} = 92$$

Z wykresu sprawności wynika, że wirnik o średnicy  $D_1''' = 1360 \text{ mm}$  pracuje ze sprawnościami bliskimi  $\eta_{\text{opt}}$ , podczas gdy drugi o średnicy  $D_1'' = 1110 \text{ mm.}$  zwłaszcza przy spadku  $H_{\max}$ , posiada sprawności daleko niższe. Jeżeli nadto przedsiębiorstwo budujące turbiny nie posiada modeli wirników o średnicach wyliczonych wyżej, to oczywiście najkorzystniej będzie zamówić turbinę z dwoma wirnikami o

średnicy  $D_1 = 1360 \text{ mm}$

Krzywe gwarancyjne kreśliły więc dla wirnika o tej właśnie średnicy, tnąc wykres sprawności rzędnymi  $\eta_{1N} = 110 + 103 + 98$ .

U w a g a . Przy obliczaniu nowych średnic wirnika instalowanego przyjmowaliśmy do rachunku  $H'_{gmax}$ , odpowiadające zredukowanej mocy wirnika wzorcowego  $H_{1N} = 13,5$ . Pozwoliła nam na to mała zmienność  $H_{1N}$  przy największym otwarciu łopatek zasilających. Wogóle jednak należy sprawdzić, czy zredukowana moc wirnika wzorcowego, odpowiadająca mocy wirnika instalowanego o średnicy zmiennej, nie przekracza granicy określonej na wykresie krzywą największego otwarcia łopatek. Widzimy, iż w zadaniu przy  $\eta_{1N} = 110$  wartości  $H_{1N} = 13,5$  znajduje się jeszcze w obrębie wykresu, a więc turbina jest w stanie rozwinać moc żadaną.

#### Z a d a n i e 7.

Rozwiązać powyższe zagadnienie dla następujących danych:

wirnik wzorcowy typu Nr. 2208.

$$H_{min} = 7 \text{ m.}$$

$$H_{\text{norm}} = 9 \text{ m.}$$

$$H_{\text{max.}} = 12 \text{ m.}$$

$$H_0 = 3500 \text{ KM.}$$

$$n = 150 \text{ obr/min.}$$

-----

### Z a d a n i e 8.

Mamy zbudować stację siłową o mocy  $H_0 = 18000 \text{ KM}$  /w ciągu całego roku/, instalując wirniki o liczbie obrotów na min.  $n = 250$  tego samego typu, co zbudowany wirnik wzorcowy o średnicy  $D_w = 690 \text{ mm}$ . /krzywe sprawności wirnika Nr.2363/. Zmienność wysokości spadku wody budowanej stacji jest następująca:

$$H_{\text{min.}} = 9 \text{ m.}, \quad H_{\text{norm.}} = 12 \text{ m.}, \quad H_{\text{max.}} = 16 \text{ m.}$$

Obliczyć średnice oraz najmniejszą potrzebną liczbę wirników o sprawności nie mniejszej od 80%. Zbudować krzywe gwarancyjne.

-----

Ponieważ sprawność nie może spaść poniżej 80 %, przeto zredukowana liczba obrotów wirnika wzorcowego  $n_{1w}$  nie powinna przekroczyć granicy określonej rzędną styczną do krzywej warstwicowej, odpowiadającej tej właśnie sprawności. Z wykresu wynika, że  $n_{1w \text{ max}} = 125,05$ , lub, biorąc z pewnym zapasem,



$$n_{1wmax} = 122,5.$$

Obliczamy zredukowane liczby obrotów stacji dla trzech wymienionych w zadaniu spadków, oraz odpowiednie wartości pomocnicze:

$H$	$\sqrt{H}$	$H\sqrt{H}$	$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$
9	3	27	$\frac{250}{3} = 83,3$
12	3,47	41,7	$\frac{250}{3,47} = 72$
16	4	64	$\frac{250}{4} = 62,5$

Najlepszą zredukowaną liczbą obrotów nowego wirnika jest

$$n_1 = 72$$

Wirnik wzorcowy natomiast posiada najlepszą sprawność przy

$$n_1 = 100.$$

Zatem średnica nowego wirnika:

$$D_1' = D_{1w} \cdot \frac{n_{1w}}{n_1} = 690 \cdot \frac{100}{72} = 958 \text{ mm}$$

Wirnik w ten sposób obliczony pracowałby w warunkach normalnych ze sprawnością  $\eta_{max} = 90,7\%$

Jeżeli chcemy, aby liczba instalowanych wirników była najmniejszą, musimy dążyć do zwiększenia mocy jednego wirnika przez powiększenie średnicy  $D_1$ . Z równania

$$D_1'' \cdot n_1'' = D_1' \cdot n_1$$

wynika, że zwiększenie średnicy jest jednoznaczne z przyspieszeniem wirnika, którego najlepsza zredukowana liczba obrotów  $n_1''$  musi jednocześnie maleć. Ponieważ zaś rzeczywista zredukowana liczba obrotów  $n_1$  w warunkach danych pozostaje bez zmiany, przeto wirnik zmuszony jest do pracy z liczbą obrotów większą od  $n_1'' = n_{1opt}$ . Przyspieszenie to jest równe zwiększeniu średnicy, bowiem

$$\frac{n_1}{n_1''} = \frac{D_1''}{D_1'}$$

W tym samym stosunku przyspieszamy również wirnik wzorcowy, co wynika z połączenia następujących zależności:

$$D_1'' \cdot n_1 = D_{1W} \cdot n_{1W}''$$

$$D_1' \cdot n_1 = D_{1W} \cdot n_{1W}'$$

Po podzieleniu jednego równania przez drugie otrzymamy:

$$\frac{n_{1W}''}{n_{1W}'} = \frac{D_1''}{D_1'}$$

Z drugiej strony zredukowane liczby obrotów rosną wraz ze zmniejszeniem spadku  $H$ , całe nasze rozważanie zatem dotyczyć będzie pracy turbiny przy spadku  $H_{min}$ , nie możemy bowiem przekroczyć wartości  $n_{1wmax}$ , a więc i  $n_{1max}$ . —

Z rozważań powyższych wynika, że granicą powiększenia średnicy z  $D_1'$  do  $D_1''$  będzie stosunek:

$$\frac{D_1''}{D_1'} = \frac{n_{1wmax}}{n'_{1w}(H_{min})}$$

przyczem  $n_{1wmax}$  posiada wartość ustaloną na początku równania, równą 122,5, zaś  $n'_{1w}(H_{min})$  jest zredukowaną liczbą obrotów wirnika wzorcowego, odpowiadającą takiejże liczbie wirnika o średnicy  $D_1'$  przy spadku  $H_{min}$ , czyli:

$$\begin{aligned} n'_{1w}(H_{min}) &= n_1 \frac{D_1'}{D_{1w}} = \\ &= 83,3 \frac{958}{690} = 115,33 \end{aligned}$$

Zatem

$$\frac{D_1''}{D_1'} = \frac{122,5}{115,33} = 1,06.$$

Największa dopuszczalna średnica wirnika instalowanego wyniesie:

$$D_1'' = D_1' \cdot 1,06 = 958 \cdot 1,06 \approx 1015 \text{ mm.}$$

Średnicę  $D_1''$  możemy obliczyć w inny jeszcze sposób, przyjmując  $n_{1wmax}$  jako zredukowaną liczbę obrotów wirnika wzorcowego, odpowiadającą takiejże liczbie wirnika instalowanego przy  $H_{min}$  t.j.liczbie  $n_1(H_{min})$ , mianowicie:

$$\begin{aligned} D_1'' &= D_{1w} \cdot \frac{n_{1wmax}}{n_1(H_{min})} = \\ &= 690 \cdot \frac{122,5}{83,3} \approx 1015 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Wartości  $n_{1wmax}$  odpowiada na wykresie sprawności  $H_{1wmax} = 21,8$  / również z nieznacznym zapasem /, przeto zredukowana moc wirnika o średnicy  $D_1''$  będzie równa:

$$\begin{aligned} H_{1max}'' &= \left( \frac{D_1''}{D_{1w}} \right)^2 \cdot H_{1wmax} = \\ &= \left( \frac{1015}{690} \right)^2 \cdot 21,8 = 47,3 \end{aligned}$$

zaś moc rzeczywista jednego wirnika:

$$\begin{aligned} H_{max}'' &= H_{1max}'' \cdot H\sqrt{H} = \\ &= 47,3 \cdot 9\sqrt{9} = 1280 \text{ KM.} \end{aligned}$$

Niezbędna liczba wirników o  $\phi 1015 \text{ mm.}$

$$V'' = \frac{HP_0}{HP_{max}} = \frac{18000}{1280} \approx 14.$$

Zbadajmy jeszcze, ile należałoby instalować wirników o średnicy  $D_1' = 958 \text{ mm}$ . Podobnie:

$$\text{przy } n_{1w} = 115,33 \quad — \quad HP_{1wmax} = 21,8.$$

$$HP_{1max}' = 21,8 \left( \frac{958}{690} \right)^2 = 42$$

$$HP_{max}' = 42 \cdot 9\sqrt{9} = 1135 \text{ KM.}$$

$$V' = \frac{18000}{1135} \approx 15,85 \approx 16.$$

Należałoby więc instalować w tym przypadku o 2 wirniki więcej niż w poprzednim.

Ostatecznie decydujemy się instalować 14 wirników o średnicy  $D_1 = 1015 \text{ mm}$ . Dla tych danych budujemy też krzywe gwarancyjne /jak w zad.4/, obliczając poprzednio zredukowane liczby obrotów wirnika wzorcowego, odpowiadające takimże liczbom wirnika zaprojektowanego:

$$\text{przy } H_{min.} \quad — \quad n_{1w} = 83,3 \cdot \frac{1015}{690} = 122,5$$

$$\text{" } H_{norm} \quad — \quad n_{1w} = 72 \cdot \frac{1015}{690} = 106$$

$$\text{przy } H_{max} - n_{1w} = 62,5 \frac{1015}{690} = 91,2$$

### Z a d a n i e 9.

Ile trzeba uruchomić wirników, obliczonych w poprzednim zadaniu, aby przy największym spadku wody  $H_{max}$  uzyskać pełną moc  $HP = 18000 \text{ KM}$ .

-----

Na rzędnej  $n_{1w} = 92,2$  wykresu sprawności wirnika wzorcowego odczytujemy w przecięciu z krzywą pełnego otwarcia łopatek /100 % bez przeciążenia/ wartość

$$HP_{1wmax} = 21,1$$

Odpowiednia zredukowana moc wirnika zainstalowanego wyniesie:

$$HP_{1max} = 21,1 \left( \frac{1015}{690} \right)^2 = 45,6$$

zaś moc rzeczywista:

$$HP_{max} = 45,6 \cdot 16\sqrt{16} = 2920$$

Zatem:

$$V = \frac{18000}{2920} \approx 6,2$$

A więc należy uruchomić 7 wirników.

# Z a d a n i e 10.

Dane są krzywe sprawności wirnika wzorcowego o średnicy  $D_{1w} = 638 \text{ mm}$  typu Nr.1799 znormalizowanego w średnicach:  $\phi\phi: 400, 430, 460, 500, 540, 580, 630, 680, 740$ .

Zaprojektować, używając tylko powyższych średnic, turbiny o mocy łącznej  $P_0 = 37501$  liczbie:  $n = 425$  obrotów na minutę przy spadku wody  $H = 16 \text{ m}$ .

Zredukowana liczba obrotów turbiny:

$$n_1 = \frac{425}{\sqrt{16}} = 106,25$$

Najlepsza zredukowana liczba obrotów wirnika wzorcowego  $n_{1w, \text{opt}} = 100$ , zatem średnica nowego wirnika wyniosłaby:

$$\begin{aligned} D_1' &= D_{1w} \cdot \frac{n_{1w}}{n_1} = \\ &= 638 \cdot \frac{100}{106,25} = 600 \text{ mm.} \end{aligned}$$

Ponieważ normale fabryczne nie zawierają powyższej średnicy, musimy zdecydować się na wybór jednej z dwu sąsiednich wartości  $D_1$ , instalując wirniki o średnicy równej bądź  $580 \text{ mm}$ , bądź



też 630 mm.

Przypuśćmy, że instalujemy wirniki o średnicy  $D_1'' = 580$ , a więc mniejszej od wyliczonej wyżej. W myśl rozważań zawartych w zadaniu 8-ym zmniejszenie średnicy wirnika projektowanego odpowiada zwolnienie wirnika wzorcowego w stosunku równym stosunkowi średnic, mianowicie:

$$\frac{n_{1w}''}{n_{1w}} = \frac{D_1''}{D_1'} = \frac{580}{600} = 0,967$$

A więc zredukowana liczba obrotów wirnika wzorcowego, odpowiadająca nowej średnicy, będzie równa:

$$n_{1w}'' = n_{1w} \cdot 0,967 = 100 \cdot 0,967 = 96,7$$

Tej wartości  $n_{1w}''$  odpowiada na wykresie sprawności największa zredukowana moc wirnika wzorcowego  $HP_{1wmax}'' = 6,89$  oraz sprawność  $\eta = 82,5\%$ . Odpowiednia zredukowana moc wirnika projektowanego wyniesie:

$$\begin{aligned} HP_{1max}'' &= HP_{1wmax}'' \left( \frac{D_1''}{D_{1w}} \right)^2 = \\ &= 6,89 \left( \frac{580}{638} \right)^2 = 5,7 \end{aligned}$$

zaś moc rzeczywista:

$$HP_{max}'' = HP_{1max}'' \cdot H\sqrt{H} = 5,7 \cdot 16\sqrt{16} = 365.$$

Zatem należałoby instalować wirników



$$\nu = \frac{HP_0}{HP_{max}''} = \frac{3750}{365} = 10,3 \approx 11$$

Zbadajmy teraz, ile potrzeba wirników o średnicy  $D_1''' = 630 \text{ mm}$

W tym przypadku wirnik wzorcowy przyspieszamy w stosunku:

$$\frac{n_{1w}'''}{n_{1w}} = \frac{D_1'''}{D_1'} = \frac{630}{600} = 1,05$$

czyli o 5 %.

Wykres sprawności będziemy zatem ciąć rzędną:

$$n_{1w}''' = n_{1w} \cdot 1,05 = 100 \cdot 1,05 = 105.$$

Na wykresie odczytujemy:

$$HP_{1wmax}''' = 6,87 \quad i \quad \eta = 83\%$$

Jak poprzednio, obliczamy:

$$HP_{1max}''' = 6,87 \cdot \left(\frac{630}{638}\right)^2 = 6,7$$

$$HP_{max}''' = 6,7 \cdot 16\sqrt{16} = 428 \text{ KM}$$

$$\nu = \frac{3750}{428} = 8,76 \approx 9 \text{ wirników}$$

Jeżeli więc moc stacji nie przekracza nigdy podanej liczby  $HP_0 = 3750 \text{ KM}$ , to instalujemy 9 wirników o średnicy  $D_1 = 630 \text{ mm}$

Zbadajmy jeszcze jaką sprawność będzie posiadała stacja przy pełnem obciążeniu  $HP_0 = 3750 \text{ KM}$ .

Jeden wirnik rozwija moc:

$$HP = \frac{HP_0}{\nu} = \frac{3750}{9} \approx 416,7$$

jego zaś moc zredukowan wynosi:

$$HP_1 = \frac{HP}{H\sqrt{H}} = \frac{416,7}{16\sqrt{16}} \approx 6,5$$

Odpowiednia moc wirnika wzorcowego:

$$\begin{aligned} HP_{1w} &= HP_1 \cdot \left( \frac{D_{1w}}{D_1} \right)^2 = \\ &= 6,5 \left( \frac{638}{630} \right)^2 \approx 6,7 \end{aligned}$$

Dla tej wartości  $HP_{1w}$  oraz  $n_{1w} = 105$  odczytujemy na wykresie sprawność:

$$\eta = 85,5\%$$

#### Z a d a n i e 11.

Zaprojektować turbiny o mocy łącznej  $HP_0 = 4000 \text{ KM}$  i liczbie obrotów na minutę  $n = 500$  przy spadku  $H = 16 \text{ m}$ . typu znormalizowanego w średnicach podanych w zadaniu 10-ym. Wirnik wzorcowy Nr. 2892 o średnicy  $D_{1w} = 740 \text{ mm}$ .