

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 $D_{1w} = 740 \text{ mm}$.

Z a d a n i e 12.

Dane są krzywe sprawności wirnika wzorcowego o średnicy $D_{1w} = 690 \frac{mm}{m}$ typu Nr. 2363, znormalizowanego w średnicach:

$\left. \begin{array}{l} 330 \\ 360 \end{array} \right\} \text{I}$	$\left. \begin{array}{l} 640 \\ 690 \end{array} \right\} \text{V}$
$\left. \begin{array}{l} 390 \\ 420 \end{array} \right\} \text{II}$	$\left. \begin{array}{l} 750 \\ 810 \end{array} \right\} \text{VI}$
$\left. \begin{array}{l} 460 \\ 500 \end{array} \right\} \text{III}$	$\left. \begin{array}{l} 890 \\ 960 \end{array} \right\} \text{VII}$
$\left. \begin{array}{l} 540 \\ 590 \end{array} \right\} \text{IV}$	$\left. \begin{array}{l} 1050 \\ 1140 \end{array} \right\} \text{VIII}$

Wymienione średnice zgrupowane są nadto serjami po dwie, przyczem każda serja posiada niektóre części instalacji jednakowe np. rury doprowadzające, łopatkki kierownicze, rury ssące i t.p.

Serja II jest całkowicie opracowana i przedsiębiorstwo posiada gotowe modele zarówno wirników, jak i innych części turbiny.

Zaprojektować stację siłową, rozwijającą w warunkach normalnych (H 1 moc $H_0 = 2300$ przy

$n = 460$ obrotów na minutę w ten sposób, aby koszty instalacji wypadły jaknajmniejsze.

Wysokości budowanej stacji są następujące:

$$H_{min} = 5,5 m., H_{norm} = 9 m., H_{max} = 11 m.$$

Obliczamy wartości charakterystyczne projektowanej stacji:

H	\sqrt{H}	$H\sqrt{H}$	$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$
5,5	2,34	12,85	$\frac{460}{2,34} = 196,5$
9	3	27	$\frac{460}{3} = 153,3$
11	3,32	36,5	$\frac{460}{3,32} = 138,5$

Ponieważ wirnik wzorcowy posiada najlepszą sprawność przy zredukowanej liczbie obrotów

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

przeto, projektując wirnik dla warunków normalnych, znajdziemy:

$$D_1 = D_{1w} \cdot \frac{n_{1w, opt}}{n_1} = 690 \cdot \frac{100}{153,3} = 450 \text{ mm.}$$

Możemy więc instalować wirniki o średnicy równej bądź 420 mm., bądź też 460 mm.

Ponieważ wirnik o średnicy 420 mm. należy do II-ej serii, posiadającej gotowe modele wszystkich części, może się okazać, iż instalowanie większej liczby wirników mniejszych pociągnie za sobą mniejsze koszty, aniżeli zamówienie nowej turbiny o średnicy większej. Należy nadto sprawdzić, czy najmniejsze sprawności oraz moce wirników mają wartości możliwe do przyjęcia.

a/ Wirnik o średnicy $D_1' = 420$ mm.

Najlepsza zredukowana liczba obrotów, którą w warunkach normalnych powinienby robić wirnik równa jest:

$$n_{1opt}' = 100 \cdot \frac{690}{420} = 164.$$

Ponieważ jednak zredukowana liczba obrotów turbiny wynosi w rzeczywistości $n_1 = 153,3$, przeto wirnik jest zwolniony w stosunku:

$$\frac{n_1}{n_{1opt}'} = \frac{153,3}{164} = 0,934.$$

W tym samym stosunku zwolniony zostaje również wirnik wzorcowy i jego nowa zredukowana liczba obro-

tów wynosić będzie:

$$\eta'_{1w} = 100 \cdot 0,934 = 93,4.$$

Tej wartości odpowiada na wykresie sprawności

$$\eta'_{1w \max} = 21,25$$

Odpowiednia zredukowana moc wirnika projektowanego wyniesie:

$$\begin{aligned} HP'_{1 \max} &= HP'_{1w \max} \cdot \left(\frac{D'_1}{D_{1w}} \right)^2 \\ &= 21,25 \left(\frac{420}{690} \right)^2 = 7,86 \end{aligned}$$

zaś moc rzeczywista:

$$HP'_{\max} = 7,86 \cdot 9\sqrt{9} = 212 \text{ K.M.}$$

Liczba wirników więc:

$$V = \frac{HP_0}{HP'_{\max}} = \frac{2300}{212} = 10,8 \approx 11.$$

Instalując 11 wirników mamy jeszcze pewną moc w zapasie, mianowicie

$$212 \cdot 11 - 2300 \approx 40 \text{ K.M.}$$

Obliczmy jeszcze moc turbin przy najmniejszym spadku H_{\min}

$$\eta'_{1w(H_{\min})} = 196,5 \cdot \frac{420}{690} = 119,5$$

Odpowiednia moc zredukowana: $HP'_{1 \max(H_{\min})} = 22.$

oraz

$$HP'_{1max(Hmin)} = 22 \left(\frac{420}{690} \right)^2 = 8,15$$

Moc rzeczywista jednego wirnika:

$$HP'_{1max(Hmin)} = 8,15 \cdot 5,5 \sqrt{5,5} = 105 \text{ K.M.}$$

Moc całej stacji zatem:

$$HP_{(Hmin)} = 105 \cdot 11 = 1155 \text{ K.M.}$$

Sprawność, z jaką stacja pracuje przy spadku

H_{min} wynosi $\eta = 81\%$ oraz $\eta_{max} = 83,5\%$.

b/ Wirnik o średnicy $D_1'' = 460 \text{ mm}$.

Najlepsza zredukowana liczba obrotów:

$$n_{2opt}'' = 100 \cdot \frac{690}{460} = 150$$

Przyspieszenie wirnika:

$$\frac{n_1}{n_{2opt}''} = \frac{153,3}{150} = 1,022$$

Odpowiednia zredukowana liczba obrotów wirnika wzorcowego:

$$n_{1w}'' = 100 \cdot 1,022 = 102,2$$

Zredukowana moc wirnika wzorcowego:

$$HP''_{1wmax} = 21,7$$

Zredukowana moc wirnika projektowanego:

$$HP_{1max}'' = 21,7 \left(\frac{460}{690} \right)^2 = 9,65.$$

Moc rzeczywista:

$$HP_{max}'' = 9,65 \cdot 9\sqrt{9} = 260 \text{ KM}.$$

Liczba wirników:

$$V = \frac{2300}{260} = 8,85 \approx 9$$

Zapas mocy:

$$260 \cdot 9 - 2300 = 40 \text{ KM}$$

Przy spadku H_{min} wykres sprawności tniemy
rzedną:

$$n_{1w(H_{min})} = 196,5 \cdot \frac{460}{690} = 130,5$$

Tej wartości n_{1w} odpowiadają sprawności dla
turbin wodnych niedopuszczalne, a na wykresie na-
wet niezamieszczone.

Wobec tego za rozwiązanie zagadnienia należy
uważać instalację złożoną z 11 wirników o średnicy
 $D_1 = 420 \text{ mm}.$

Z a d a n i e 13.

Dane są krzywe sprawności turbiny typu Nr.1799
o średnicy $D_1 = 638 \text{ mm}.$ i mocy $HP = 750 \text{ KM}.$ przy
liczbie obrotów na minutę $n = 500.$ Obliczyć wyda-

tek turbiny Q przy najmniejszym spadku wody H_{min} , przy którym turbina będzie w stanie dać jeszcze pełną moc $HP = 750 \text{ KM}$, zachowując jednocześnie zadaną liczbę obrotów $n = 500$.

Wraz ze zmniejszeniem spadku H rośnie zredukowane:

liczba obrotów

$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$$

oraz moc

$$HP_1 = \frac{HP}{H\sqrt{H}}$$

Wielkość więc spadku H winna odpowiadać takiej wartości n_1 , przy której odpowiednia HP_{1max} nie wykrocza jeszcze poza granicę, określoną na wykresie krzywą największego otwarcia łopatek koła zasilającego

Połączmy obie zależności w jedną, otrzymamy wtedy

$$\begin{aligned} HP_1 &= \phi(n_1) = \phi[f(H)] = \\ &= \frac{HP}{\frac{n^2}{n_1^2} \cdot \frac{n}{n_1}} = \frac{HP}{n^3} \cdot n_1^3 \end{aligned}$$

Krzywa wyrażona tym równaniem stanowi parabolę sześcienną. Wykreślmy taki odcinek tej krzywej, aby znaleźć punkt przecięcia jej z krzywą największego otwarcia łopatek koła zasilającego.

Układamy w tym celu tabelkę pomocniczą:

n_1	n_1^3	$H_1 = \frac{750}{500^3} \cdot n_1^3 = 6 \cdot 10^{-6} \cdot n_1^3$
100	10^6	6
102,5	$1,08 \cdot 10^6$	6,48
105	$1,16 \cdot 10^6$	6,96
107	$1,22 \cdot 10^6$	7,32

Wymieniony wyżej punkt przecięcia posiada na wykresie następujące współrzędne:

$$n_1 = 104,5$$

$$H_1 = 6,85$$

A więc szukany najmniejszy spadek będzie równy

$$\begin{aligned}
 H_{min} &= \left(\frac{n}{n_1} \right)^2 \\
 &= \left(\frac{500}{104,5} \right)^2 = 22,9 \approx 23 m.
 \end{aligned}$$

Gdyby spadek zmniejszył się poniżej wyliczonej granicy, wzrosła by wartość N_1 , zaś HP związana z tą ostatnią zależnością paraboliczną przekroczyłaby granicę wykresu i turbina nie byłaby w stanie rozwinąć zadanej mocy zachowując jednocześnie liczbę $N = 500$ obrotów na minutę. Przy dalszym zmniejszeniu wysokości spadku i niezmiennym obciążeniu liczba obrotów zaczęłaby maleć.

Jak wynika z wykresu sprawność turbiny przy najmniejszym dopuszczalnym spadku wynosi

$$\eta = 83\%$$

Ostatecznie ze wzoru na wartość mocy t.j.

$$HP = \frac{\gamma Q H}{75} \cdot \eta$$

obliczymy wydatek turbiny:

$$Q = \frac{HP \cdot 75}{\gamma \cdot H \cdot \eta} = \frac{750 \cdot 75}{10^3 \cdot 23 \cdot 0,83} = 2,9 \text{ m}^3/\text{sek.}$$

Z a d a n i e 14

Rozwiązać zadanie poprzednie dla danych następujących:

wirnik typu $N^{\circ} 2363$

$$HP = 550 \text{ KM}$$

$$N = 300 \text{ obr. na min.}$$

Z a d a n i e 15.

Dane są krzywe sprawności wirnika wzorcowego Nr.2208 o średnicy $D_1 = 660$ mm.

a/ Obliczyć turbine tego samego typu o mocy $H_0 = 3400$ i $n = 150$ obr./min. przy spadku $H = 9$ m

b/ Wyliczyć H_{min} , przy którym turbina da jeszcze pełną moc $H = 3400$ kW, zachowując $n = 150$ obrotów na minutę.

c/ Wykreślić krzywą sprawności w zależności od spadku H przy stałej mocy $H_0 = 3400$ i $n = 150$ w granicach od ustalonego H_{min} aż do $H = 11$ m.

a/ Zredukowana liczba obrotów turbiny:

$$n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}} = \frac{150}{\sqrt{9}} = 50$$

Średnica wirnika:

$$D_1 = D_{1w} \frac{n_{1w}}{n_1} = 660 \cdot \frac{100}{50} = 1320 \text{ mm.}$$

Liczbę wirników obliczymy w ten sposób, aby turbina w danych warunkach pracowała z jaknajlepszą sprawnością. Wirnik wzorcowy posiada sprawność $\eta_{opt} = 90,1\%$ gdy zredukowana jego moc przy $n_{1w,opt} = 100$ osiąga wartość $H_{1w} = 16,27$. Odpowiednia zredukowana moc wirnika projektowanego wyniesie przeto:

$$H_1 = H_{1w} \cdot \left(\frac{D_1}{D_{1w}} \right)^2 = 16,27 \left(\frac{1320}{660} \right)^2 = 65.$$

zaś jego moc rzeczywista:

$$HP = H_1 \cdot H \sqrt{H} = 65 \cdot 9 \sqrt{9} = 1750$$

Należy zatem instalować turbinę o liczbie wirników równej:

$$V = \frac{HP_0}{HP} = \frac{3400}{1750} = 1,94 \approx 2$$

Liczbę wirników możemy obliczyć w inny jeszcze sposób. Zredukowana moc całej turbiny wynosi

$$HP_{01} = \frac{HP_0}{H \sqrt{H}} = \frac{3400}{9 \sqrt{9}} = 126$$

Charakterystyka typu turbiny:

$$n_{s0} = n_1 \sqrt{HP_{01}} = 50 \sqrt{126} = 562$$

Liczbę wirników obliczamy /Część I, rozdz. 2. / przy pomocy wzoru:

$$V = \left(\frac{n_{s0}}{n_{s,max}} \right)^2$$

Ponieważ chcemy instalować wirniki tego samego typu, co wirnik wzorcowy t.j. o charakterystyce

$n_s = 404,6$, przeto

$$V = \left(\frac{562}{404,6} \right)^2 = 1,94 \approx 2.$$

Jeżeli mamy wymiary i kąty wirnika wzorcowego, to obliczenie wstępne staje się zbędne, bowiem wirnik projektowany powinien mieć te same wartości kątów oraz wzajemne stosunki wymiarów, przede wszystkim zaś stosunek $\frac{B_1}{D_1}$. W przeciwnym razie stosujemy rachunek podany w rozdz. 2 części I, pamiętając, iż poza warunkami zadania mamy jeszcze określone następujące wartości charakterystyczne:

$$n_s = 404,6$$

$$K_n = D_{1w} \cdot n_{1w \text{ opt}} = 0,66 \cdot 100 = 66.$$

b/ W zadaniu poprzednim obliczaliśmy najmniejszy spadek H_{min} dla wirnika, którego krzywe sprawności były dane. Tutaj musimy wyliczyć także spadek dla wirnika zaprojektowanego, korzystając jednak z wykresu wirnika wzorcowego.

W tym celu należy przedewszystkiem zredukować dane do wirnika wzorcowego w myśl zależności X i XII, zawartych we wstępie do części II-ej, zakładając wysokości spadku jednakowe dla obu wirników. Innymi słowy, należy wyliczyć moc oraz liczbę obrotów, które powinien zachować wirnik wzorcowy, pracując przy wysokościach spadku równych wysokościom projektowanej stacji t.j. gdy $H_w = H$. Znajdziemy więc:

$$n_w = n \cdot \frac{D_1}{D_{1w}} = 150 \cdot \frac{1320}{660} = 300 \text{ obr/min.}$$

oraz /moc jednego wirnika $HP = \frac{3400}{2} = 1700 \text{ KM.}$

$$HP_w = HP \left(\frac{D_{1w}}{D_1} \right)^2 = 1700 \left(\frac{660}{1320} \right)^2 = 425 \text{ KM.}$$

Dla tych wartości $n_w = \text{const.}$ i $HP_w = \text{const.}$ wykreślamy parabolę zależności:

$$HP_{1w} = \frac{HP_w}{n_w^3} \cdot n_{1w}^3$$

Tabela pomocnicza:

n_{1w}	n_{1w}^3	$HP_{1w} = \frac{425}{300^3} \cdot n_{1w}^3$
90	$0,73 \cdot 10^6$	11,45
95	$0,857 \cdot 10^6$	13,45
100	10^6	15,70
102,5	$1,08 \cdot 10^6$	16,95
105	$1,16 \cdot 10^6$	18,20

Największe wartości HP_{1w} i n_{1w} określa punkt przecięcia paraboli z krzywą największego otwarcia

łopatek koła zasilającego, mianowicie:

$$H_{1w} = 17,6$$

$$n_{1w} = 104$$

Wobec tego najmniejsza wysokość spadku, przy której turbina zachowuje żadaną moc i obroty wynosi:

$$H_{min} = \left(\frac{n_w}{n_{1w}} \right)^2 = \left(\frac{300}{104} \right)^2 = 8,32 \text{ metra.}$$

c/ Wykreślona parabola jest jednocześnie graficzną interpretacją zależności

$$H_1 = \Phi(H)$$

przy $H = \text{const}$ i $n = \text{const}$, ponieważ $H_1 = f(n_1)$, zaś n_1 jest funkcją spadku. Krzywą więc

$$\eta = f(H)$$

przy $H = \text{const}$ i $n = \text{const}$ wykreślimy, korzystając z tej samej paraboli, mianowicie:

1/ punkty przecięcia paraboli z krzywami jednakowych sprawności określają nam wartości tych ostatnich.

2/ Odcięte zaś tych samych punktów pozwolą ustalić odpowiadające odczytanym sprawnościom wysokości spadków przy pomocy wzoru:

$$n_{1w} = \frac{n_w}{\sqrt{H}} = \frac{300}{\sqrt{H}}$$

Sprawność, z jaką turbina pracuje przy spadku $H=11m$, odpowiada punktowi paraboli o odciętej równej:

$$n_{1w} = \frac{300}{\sqrt{11}} = 90,4$$

i wynosi

$$\eta_{H=11m} \approx 82,2\%$$

Zaś przy $H_{min} = 8,32$

$$\eta_{H_{min}} \approx 83\%$$

Z a d a n i e 16.

Dane są krzywe sprawności wirnika wzorcowego Nr.2121 o średnicy $D_f = 660$ mm. Rozwiązać zadanie a/, b/ i c/ jak w zadaniu 15-ym dla następujących danych:

$$H_0 = 2600 \text{ KM.}$$

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

$$H = 9 \text{ metrów.}$$

