

B

Nr. 4396

Politechnika Warszawska

Inż. ST. ZWIERZCHOWSKI
Profesor Politechniki Warszawskiej

TURBINY
O NASTAWNYCH ŁOPATKACH
WIRNIKA

ODBITKA Z CZASOPISMA „PRZEGLĄD MECHANICZNY”, TOM III, Nr. 11.

W A R S Z A W A

1937



MP.1864

13 4396



Inż. ST. ZWIERZCHOWSKI

Profesor Politechniki Warszawskiej

Turbiny o nastawnych łopatkach wirnika

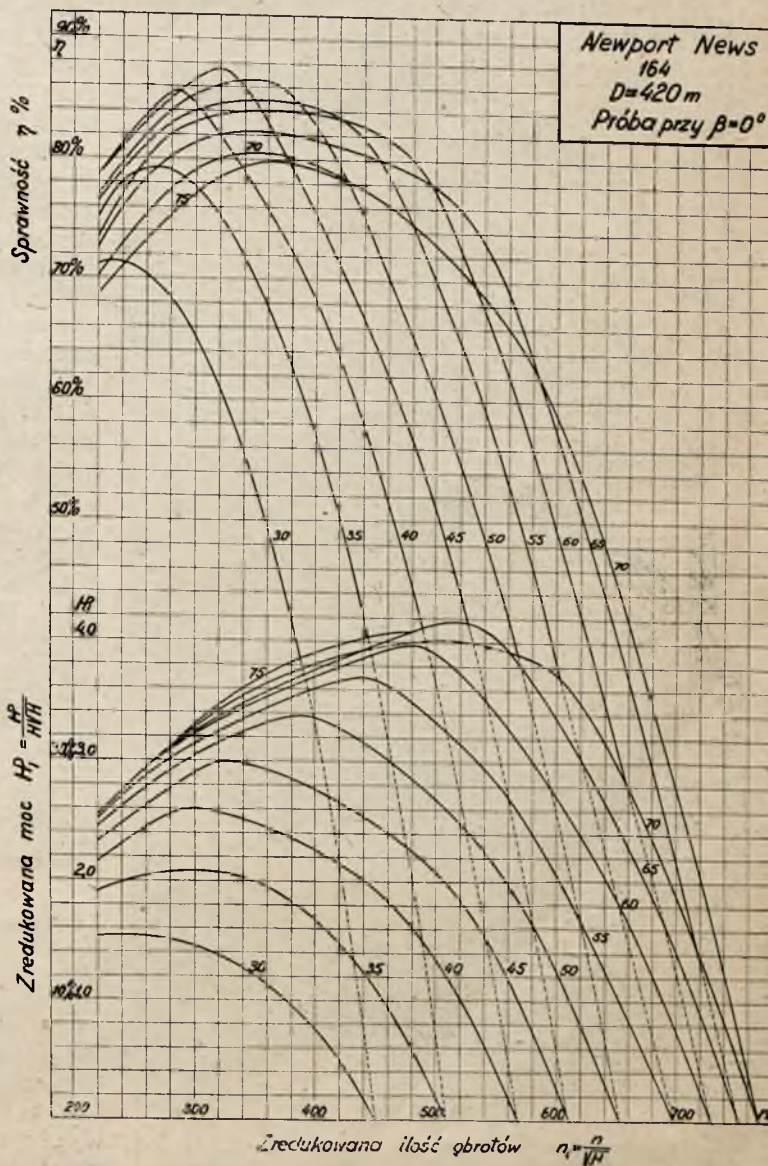
TURBINY wodne o łopatkach wirnika nastawnych w ruchu są jedną z większych zdobyczy sztuki konstruktorskiej ostatnich lat. Sztuki konstruktorskiej, a nie nauki teoretycznej, bo w każdym wykładzie teorii turbin wodnych zwracano już od dziesiątek lat uwagę na korzyści, jakie osiągnięto, gdyby zależnie od warunków pracy, t. j. zależnie od zmian liczby obrotów, spadku i obciążenia, można było zmieniać kąty wejściowe i wyjściowe łopatek wirnika.

Lecz trzeba było zdobyć się na skonstruowanie i zbudowanie takiej turbiny. To też jest wielką zasługą Kaplana, że on pierwszy zdobył się na to i skonstruował śmigłową turbinę z łopatkami wirnika nastawnymi w ruchu oraz oddał ją do eksploatacji przemysłowi.

I, jak często się zdarza w podobnych wypadkach „odważnych” konstrukcji, okazało się i tu, że rozwiązanie zadania ani nie stanowiło zbyt wielkich trudności konstrukcyjnych, ani też nie dało w praktyce, t. j. przy pracy tych turbin, żadnych przykrych niespodzianek. Ponieważ zaś zasadę nastawności łopatek wirnika zastosowano do turbin śmigłowych, a, jak wiadomo, tymi turbinami osiągnąć można daleko większą szybkobieżność, t. j. daleko większe wartości cechy charakterystycznej n_s niż w turbinach Francisa, przeto turbiny Kaplana weszły na rynek od razu z dwiema zaletami, mianowicie: większej szybkobieżności i lepszej sprawności przy obciążeniach innych niż normalne.

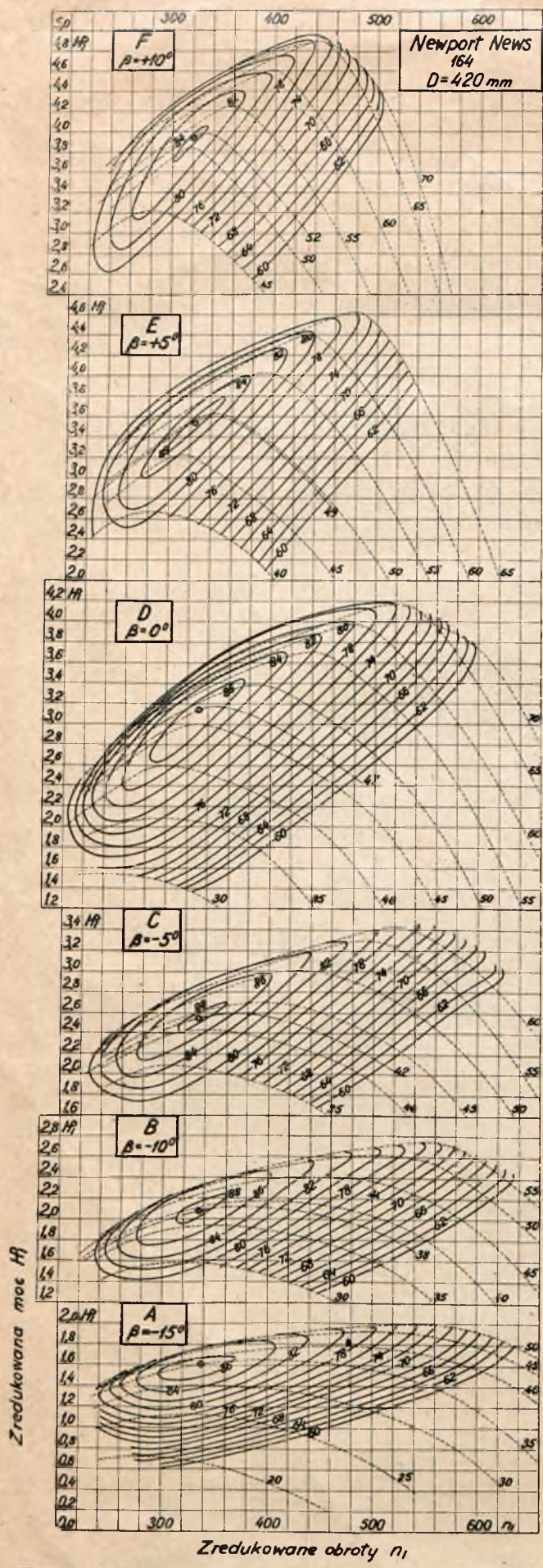
Tym się tłumaczy, że turbiny te zdobyły sobie tak wielką popularność i że konstruktorzy starają się coraz bardziej rozszerzać ich pole zastosowania, bo oczywiście — jak zawsze, tak i tu — zalety tego typu turbin wodnych mogą być wykorzystane tylko w pewnych granicach co do warunków pracy (wysokości spadku, liczby obrotów, położenia względem dolnej wody). Zwrócono na to uwagę w referacie zgłoszonym przez autora na Zjazd Elek-

tryków Polskich w Wilnie w czerwcu 1936 r., a wydrukowanym w „Przeglądzie Elektrotechnicznym”, zes. 9 z r. 1936.



Rys. 1. Krzywe mocy i sprawności przy ustalonym otwarciu łopatek wirnika, a zmiennych otwarciach łopatek kierowniczych

i. z 1661



Rys. 2. Pagórki sprawności przy różnych ustalonych otwarciach łopatek wirnika.

Aczkolwiek w literaturze technicznej spotyka się bardzo często krzywe sprawności zainstalowanych turbin Kaplana, to jednak ogółowi inżynierów nie są dostępne te dane, ani krzywe szczegółowe, na których konstruktorzy się opierają, kiedy ustalają dla danej turbiny to skojarzenie otwarć czy nachyleń łopatek koła kierującego z otwarciami czyli nachyleniami łopatek wirnika, przy którym otrzymuje się najlepsze wyniki pracy turbiny w przepi-sanych warunkach instalacji.

Wobec powyższego, jak również wobec faktu, że w Polsce czyni się przygotowania do budowy turbin wodnych o nastawnych łopatkach wirnika, wydaje się celowym opublikowanie takich danych i krzywych oraz szczegółowe ich omówienie.

Dane i krzywe, o jakie tu idzie, otrzymuje się zawsze na podstawie prób laboratoryjnych, wykonanych na małych modelach turbiny, jaka ma być budowana. Jak wiadomo, rezultaty tych prób, dzięki obowiązującym prawom proporcjonalności czy podobieństwa, przenieść można na turbinę geometrycznie podobną o wymiarach jakichkolwiek.

Dane, które będą podstawą niniejszej analizy i dyskusji, pochodzą z prób na 16 1/2-calowym wirniku, zbudowanym przez firmę amerykańską Newport News Shipbuilding and Dry Dock Co. w Newport News, Virginia, i wypróbowanym w jej własnej, bardzo nowoczesnej urządzonej stacji próbnej.

Firma ta pracowała przez szereg lat nad nową konstrukcją turbin śmigłowych o nastawnych łopatkach wirnika, różniącą się od konstrukcji Kaplana tym, że łopatki wirnika, nie podlegając kontroli żadnego mechanizmu regulującego, samoczynnie się nastawiają na otwarcie, najlepiej odpowiadające danym warunkom pracy. Mechanicznemu nastawianiu, kontrolowanemu przez regulator, podlegają jedynie łopatki koła kierowniczego. Praca ta, przeważnie laboratoryjna, dała wyniki znakomite. Pierwszą turbinę tej ciekawej konstrukcji zainstalowano w elektrowni Marmet nad rzeką Kenawha, blisko miasta Charleston w Virginii Zachodniej. Turbina ta pracuje od grudnia 1935 r., obok zainstalowanych tam także: turbiny Kaplana oraz turbiny śmigłowej z łopatkami stałymi. Obecnie są w budowie nowe jednostki dla tego samego i innych towarzystw.

Pierwszy opis tej nowej konstrukcji, opatentowanej w Ameryce (numer patentu 1.858.566 z dnia 12 maja 1932 r.), opublikowany przez twórcę jej inż. R. V. Terry'ego, znajduje się w czasopiśmie „Power” z lutego r. b.

Turbina w Marmet ma następującą charakterystykę:

Spad	23 stopy (7 m)
Moc normalna	7 600 KM
„ maksymalna	8 500 „
Liczba obrotów/min	90
Średnica wirnika	14'-9" czyli 4,5 m

Próby na wymienionym modelu o średnicy 16 1/2" przeprowadzono w sposób następujący: ustawiono łopatki wirnika na pewne nachylenie i w tym położeniu unieruchomiono je. Następnie wypróbowano turbinę przy różnych otwarciach łopatek kierowniczych w sposób zwykły, t. j. mierzono moc, spad, ilość wody zużytej przy różnych liczbach obrotów.

Takich prób uskuteczono sześć, mianowicie dla następujących nachyleń łopatek wirnika, które oznaczmy kątem

$$\beta = +10^\circ, +5^\circ, 0^\circ, -5^\circ, -10^\circ, -15^\circ.$$

Nachylenie $\beta = +10^\circ$ odpowiada maksymalnemu, a nachylenie $\beta = -15^\circ$ — minimalnemu otwarciu łopatek wirnika, jakie stosowano w próbie i jakie w praktyce firma stosuje. Łopatki kierownicze ustawiano podczas prób na kąty $\alpha = 20^\circ, 25^\circ, 30^\circ, 35^\circ, 40^\circ, 45^\circ, 50^\circ, 55^\circ, 60^\circ, 65^\circ, 70^\circ$ i 75° , przy czym, przy najmniejszym otwarciu łopatek wirnika $\beta = -15^\circ$, α zmieniano od 20° do 50° , a przy największym otwarciu łopatek wirnika $\beta = +10^\circ$ — od 45° do 75° .

W praktyce jednak nie otwiera się łopatek kierowniczych ponad $\alpha = 65^\circ$.

Na podstawie tak przeprowadzonych prób otrzymano sześć zespołów (rojów) krzywych mocy zredukowanych $HP_1 = \frac{HP}{H\sqrt{H}}$ oraz sprawności η w zależności od zredukowanych liczb obrotów $n_1 = \frac{n}{\sqrt{H}}$; przy tym dla każdego pochylenia β otrzyma-

no taką ilość krzywych HP_1 i η , przy jakiej ilości nachyleń łopatek kierowniczych α turbinę próbowano.

Rys. 1 zawiera jeden z tych sześciu zespołów, mianowicie zespół dla $\beta = 0^\circ$.

Z każdego z tych zespołów opracowano krzywe jednakich sprawności $\eta = f(HP_1, n_1)$ — czyli warstwiczne rysunki pagórków sprawności z wrysowanymi w nie krzywymi mocy przy poszczególnych otwarciach łopatek kierowniczych, czyli kątach α ; są to linie przerywane na rys. 2.

Analizując te krzywe, zauważamy co następuje:

1) Najlepsza liczba obrotów (n_1 przechodzące przez wierzchołki pagórków) nie zmienia się przy zmianie nachyleń łopatek wirnika tak bardzo, jakbyśmy mogli być skłonni przypuszczać. Mimo że kąt β zmienia się od -15° do $+10^\circ$, a zatem i kąty wejściowe i wyjściowe łopatek zmieniają się odpowiednio, najlepsze n_1 zmienia się od około 340 przy $\beta = -15^\circ$ do 320 przy $\beta = +10^\circ$.

Dzieje się tak z tej przyczyny, że i kąty łopatek kierowniczych, przy których otrzymujemy najlepsze sprawności, są inne dla każdego β , a zatem nastawiając oba układy łopatek możemy mieć więcej niż jeden stan rzeczy, przy którym zachodzi wejście bezuderzeniowe przy tej samej obwodowej szybkości wirnika.

2) Każdemu otwarciu łopatek wirnika odpowiada jakieś najlepsze otwarcie łopatek kierowniczych.

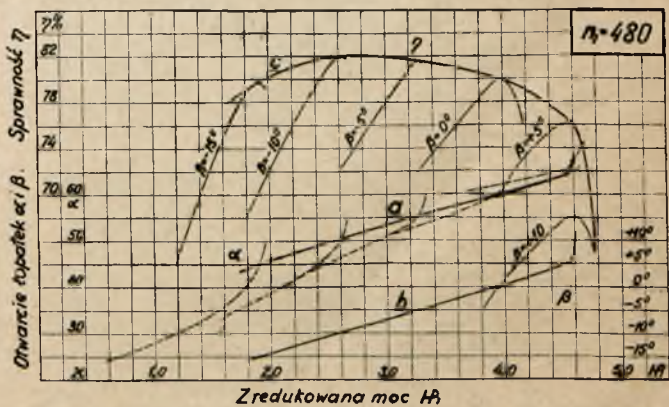
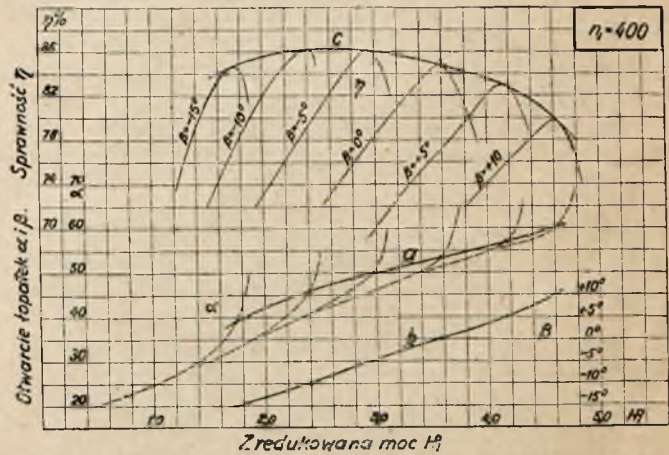
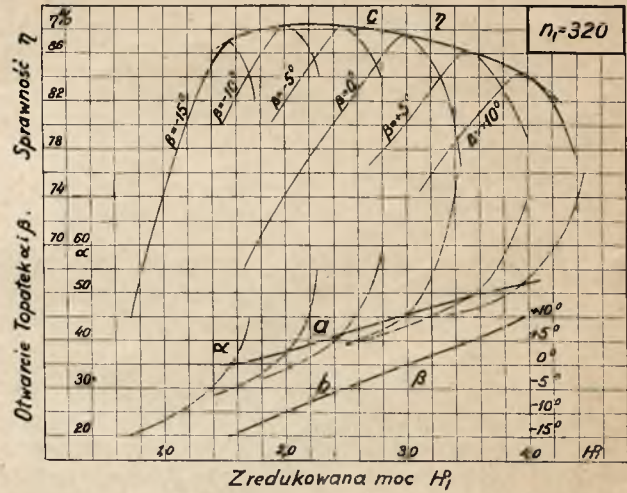
3) Najlepszy wzajemny stosunek otwarć czy nachyleń obu układów łopatek jest inny dla różnych n_1 , a zatem jest on dla turbiny pracującej przy stałej liczbie obrotów inny dla różnych spadów H , pod którymi turbina pracuje.

Jeżeli teraz przetniemy pagórki sprawności, a zresztą także zespoły krzywych odpowiadające krzywom rys. 1, na pewnych n_1 , to otrzymamy krzywe $\eta = f(HP_1)$ dla wszystkich otwarć łopatek wirnika, którym odpowiadają pagórki sprawności.

Na rys. 3, 4 i 5 mamy krzywe tak znalezione dla pracy turbiny przy $n_1 = 320, 400$ i 480 .

Jeżeli na tych samych rysunkach wykreślimy sobie także otwory, czy odpowiednie nachylenia łopatek kierowniczych α w zależności od HP_1 , to z łatwością znajdziemy te kąty α , które odpowiadają najlepszej sprawności dla każdego otwarcia łopatek wirnika, przy jakim turbina była próbowana. Leżą one na krzywej a .

Jeżeli zaś w punktach najlepszych sprawności wrysujemy także te otwarcia łopatek wirnika, którym odpowiadają poszczególne krzywe $\eta = f(HP_1)$ i przez te punkty pociągniemy krzywą b , a krzywe $\eta = f(HP_1)$ owiniemy krzywą c , to widocznie otrzymamy krzywą $\eta = f(HP_1)$ dla pracy najlep-



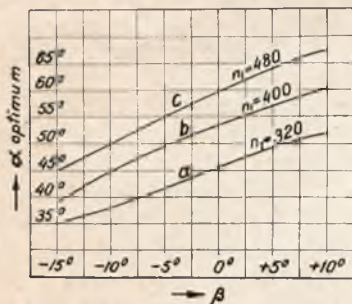
Rys. 3, 4, 5. Krzywe sprawności przy różnych stałych otwarciach łopatek wirnika i stałych obrotach zredukowanych.

Krzywe a, b i c odpowiadają najlepszemu skojarzeniu nachyleń łopatek wirnika i kierowniczych.

szej, jaką osiągnąć można przez najlepsze skojarzenie otworzyć obu układów łopatek, oraz to najlepsze ich skojarzenie.

Rysunki powyższe mówią same za siebie.

Widzimy jasno, w jak wielkim stopniu poprawiamy pracę turbiny, w której i łopatki kierownicze i łopatki wirnika są nastawne, w porównaniu z turbinami, w których są nastawne jedynie łopatki kierownicze.



Rys. 6. Najlepsze skojarzenia nchylen łopatek przy różnych stałych zredukowanych obrotach.

Na rys. 6 wykreślono na podstawie krzywych rys. 3, 4 i 5 krzywe optymalnych kątów α w zależności od kątów β odnośnie do powyżej obranych trzech wartości n_1 .

I te krzywe mówią same za siebie. Widzimy, jakie możliwości wyzyskania zalet turbin Kaplana ma konstruktor, dobierając, zależnie od szczególnych warunków pracy danej turbiny, odpowiednie skojarzenia ruchu obu układów łopatek. Jeżeliby np. rozpatrywana lub podobna (homologiczna) turbina miała pracować przeważnie przy swej najlepszej liczbie obrotów, co by dla rozpatrywanego modelu oznaczało pracę przy $n_1 =$ około 320, to skojarzenie ruchu obu systemów łopatek powinno być przeprowadzone wg. krzywej a rys. 6; jeżeliby zaś

turbina pracowała przeważnie przy takiej liczbie obrotów, która by dla modelu odpowiadała $n_1 = 400$, względnie $n_1 = 480$, to skojarzenie nastawień obu systemów łopatek powinno być uskutecznione wg. krzywej b względnie c , rys. 6.

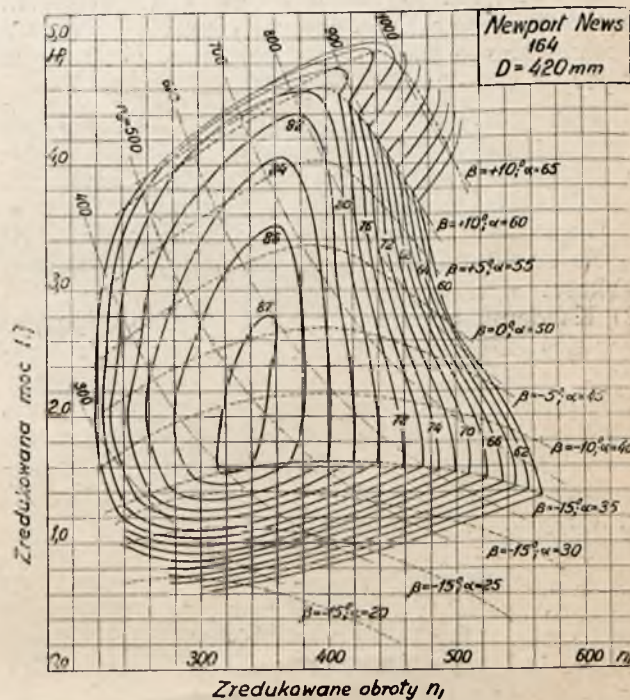
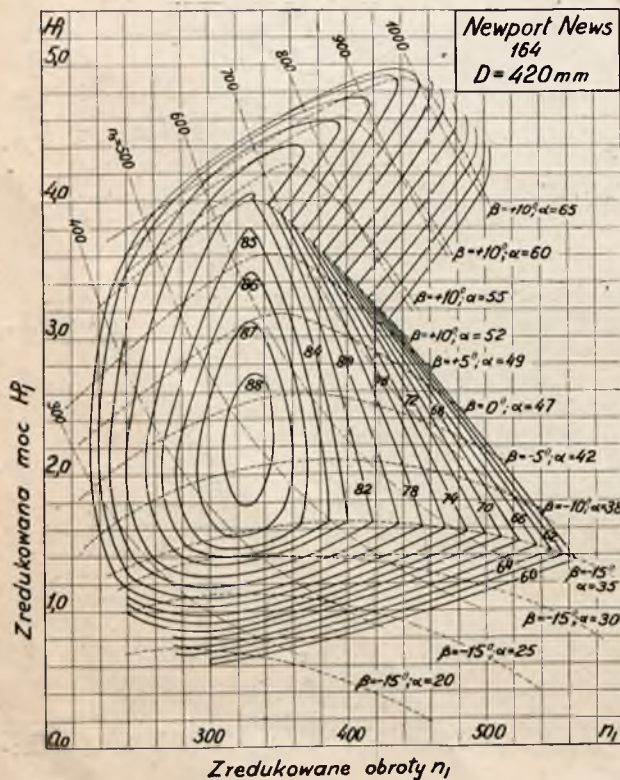
W praktyce zaś bardzo często pracują turbiny, nawet pod normalnym spadem, przy liczbie obrotów większej od najlepszej, np. wtedy, gdy zainstalowano turbinę o większej średnicy, niż by tego wymagała normalna moc i normalna liczba obrotów przy normalnym spadzie.

Jaki wpływ na charakterystykę turbin Kaplana ma odpowiednie skojarzenie nastawień obu układów łopatek, widzimy także z rys. 7, 8 i 9. Są to rysunki pagórków sprawności odnoszące się do rozpatrywanego modelu, lecz skonstruowanego, jak turbina Kaplana, z mechanizmem, ustalającym otwarcia łopatek wirnika i kierowniczych wg. pewnego określonego schematu.

Na rys. 7 mamy pagórek, jaki otrzymamy, kiedy każdemu otwarciu łopatek wirnika odpowiadać będzie to otwarcie łopatek kierowniczych, przy którym otrzymuje się bezwzględnie najlepszą sprawność, t. j. to otwarcie, którego linia, wrysowana w poszczególne pagórki sprawności rys. 2, przechodziłaby akurat przez ich wierzchołki. Znaleźć można te otwarcia dokładnie w sposób wskazany na rys. 3, 4 i 5, lub też z wystarczającą dokładnością przez wzrokową interpolację, patrz pagórki rys. 2.

Po przeniesieniu na inny arkusz linii tych wraz z punktami ich przecięcia z poszczególnymi warstwicami i po połączeniu odpowiednich punktów otrzymujemy rys. 7.

Że w górnej, a także i w dolnej części jest w konturach pagórka wyraźne załamanie, tłumaczy się tym, że w danej turbinie łopatki wirnika otwierają się tylko między $\beta_1 = -15^\circ$ a $+10^\circ$. Jedynie więc w środkowej części pagórka, ograniczonej li-



Rys. 7, 8, 9. Turbina zbudowana z łopatkami wirnika nastawianymi równocześnie z łopatkami kierowniczymi

niami optymalnych otwarć łopatek kierowniczych odpowiadających powyższym krańcowym nachyleniom łopatek wirnika, turbina jest regulowana przez oba układy łopatek równocześnie. Poza tymi liniami jest ona regulowana jedynie łopatkami kierowniczymi, podczas gdy łopatki wirnika stoją stale w swych krańcowych położeniach. Części pagórka sprawności poza tymi liniami są więc identyczne z odpowiednimi częściami pagórków (A) i (F) rys. 2.

Na rys. 8 mamy pagórek opracowany w identyczny sposób, lecz na podstawie założenia, że otwarcia łopatek zmieniają się wg następującego schematu:

$$\begin{array}{cccccc} \beta = & -15^\circ & -10^\circ & -5^\circ & 0^\circ & +5^\circ & +10^\circ \\ \alpha = & 35^\circ & 40^\circ & 45^\circ & 50^\circ & 55^\circ & 60^\circ \end{array}$$

Na rys. 9 wreszcie mamy pagórek opracowany na podstawie założenia następującego schematu:

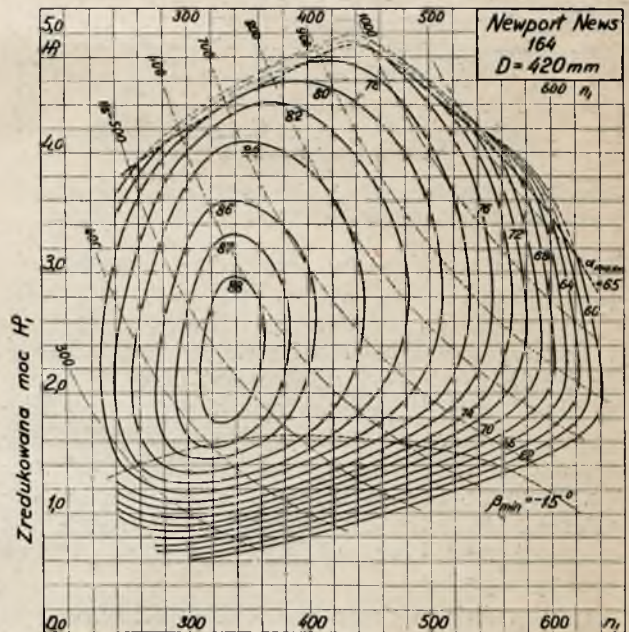
$$\begin{array}{cccccc} \beta = & -15^\circ & -10^\circ & -5^\circ & 0^\circ & +5^\circ & +10^\circ \\ \alpha = & 30^\circ & 37^\circ & 44^\circ & 51^\circ & 58^\circ & 65^\circ \end{array}$$

Z rysunków tych widzimy wyraźnie, jak, nie kojarząc wzajemnego ruchu łopatek kierowniczych i wirnika na podstawie najlepszych sprawności, można bez zbyt wielkiej straty na tej najlepszej sprawności znacznie poszerzyć pagórek i przez to umożliwić lepsze wyzyskanie instalacji, mającej spady zmienne. Szczególnie ważnym jest to, że w ten sposób możemy osiągnąć bardzo dobre wyzyskanie takiego zakładu wodnego, w którym spady przez dłuższe okresy czasu są znacznie niższe od normalnych, kiedy to praca turbiny odpowiada punktom na pagórku sprawności, znajdującym się znacznie na prawo od linii n_1 optimum.

Rysunek 10 powstał w ten sposób, że wykreślono krzywe, które owijają warstwy jednakich wartości, wzięte z pagórków rys. 2. Można jednak

do tego samego rezultatu dojść także w następujący sposób.

Rysuje się najpierw dla różnych n_1 krzywe $\eta = f(HP_1)$, jak to wykonano na rys. 3, 4 i 5 — patrz krzywe c. Przecinając teraz je na tych samych wysokościach (tych samych η), znajduje się cały szereg punktów $HP_1 = f(n_1)$, dających jednaką sprawność. Po przeniesieniu tych punktów na inny arkusz i połączeniu ich ciągłymi krzywymi otrzymuje się warstwy pagórka, rys. 10.



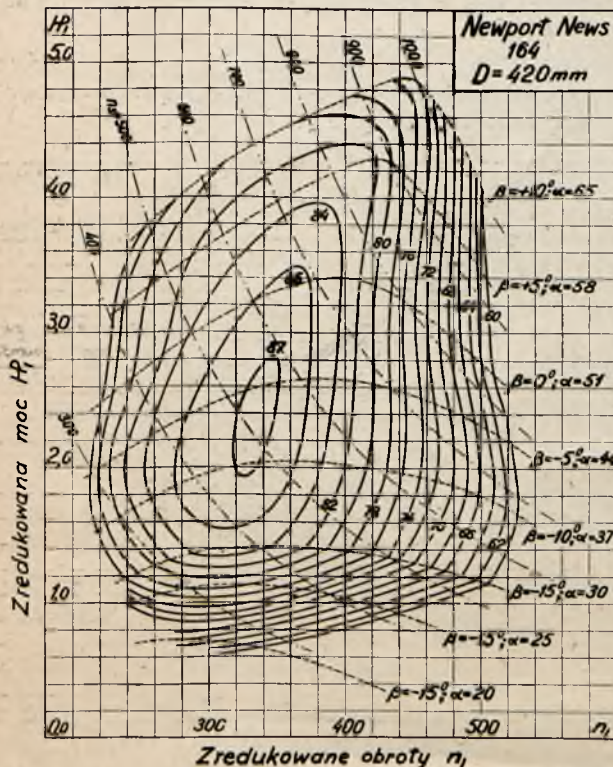
Poniżej linii $\beta_{min} = -15^\circ$ turbina regulowana jest jedynie łopatkami kierowniczymi.

Rys. 10. Turbina zbudowana z łopatkami kierowniczymi nastawianymi, a łopatkami wirnika samonastawnymi.

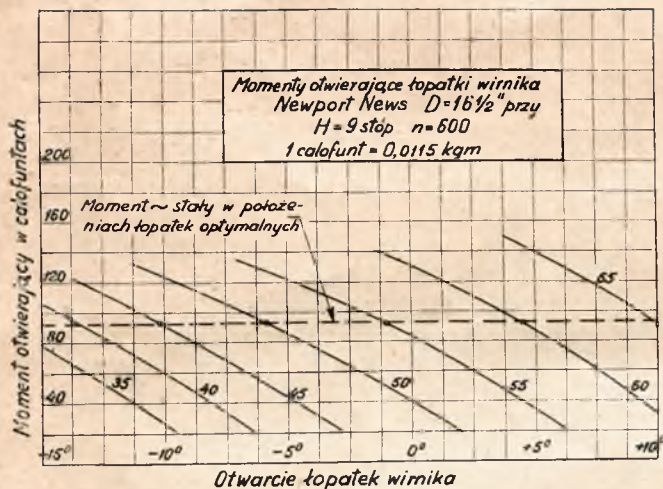
Tak wykreślony pagórek odpowiada konstrukcji turbiny, przy której łopatki wirnika nastawione są przy każdym nastawieniu łopatek kierowniczych i przy każdym n_1 na swe najlepsze otwarcie. Odpowiadałoby to najdoskonalszemu, bo całkowitemu wyzyskaniu zalet turbin o nastawnych w ruchu łopatkach wirnika i kierowniczych. I to właśnie było celem, do którego dążyła firma Newport News, względnie jej inżynier R. V. Terry.

Cel ten został osiągnięty w sposób następujący:

Łopatką wirnika dano takie kształty i długości, względnie ulokowano oś, około której łopatki te w piaście się obracają, tak, że mają one w każdym położeniu zdecydowaną tendencję do otwierania się. Następnie osiągnięto taki stan rzeczy, że moment otwierający, względnie pochodząca stąd siła osiowa, działająca na tłok umieszczony w piaście wirnika, ma praktycznie tę samą wartość przy każdym optymalnym położeniu łopatki wirnika. Ponieważ zaś okazało się równocześnie, że, kiedy zmieniano liczbę obrotów turbiny przy zastosowaniu stałego spadku H , moment ten, względnie siła na tłoku, zmieniała się jak druga potęga obrotów turbiny, przeto znaczy to, że w praktyce, kiedy zawsze utrzymuje się przy zmiennych spadach H stałą liczbę obrotów turbiny, moment ten, względnie siła, ma tę samą wartość przy wszystkich spadach H , jest więc od zmian spadku niezależny.



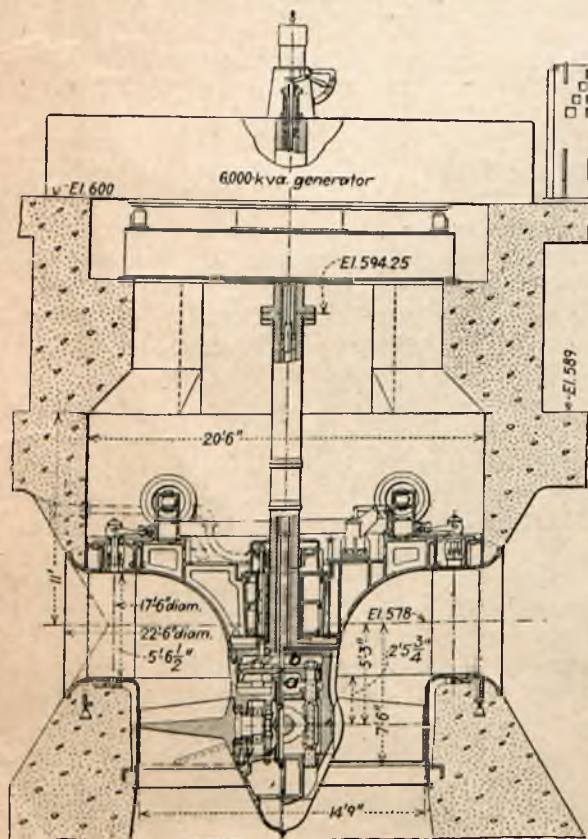
czyli przy różnych skojarzeniach obu układów łopatek.



Rys. 11. Momenty działające na łopatki wirnika przy różnych nachyleniach łopatek kierowniczych.

To właśnie umożliwiło praktyczne rozwiązanie zadania, jakie sobie stawiano. Jeżeli bowiem dodamy odpowiednią przeciwsilę działającą na tłok, a przez niego na łopatki wirnika, w sensie zamykania i siła ta wytworzy moment stały i równy momentowi, otwierającemu łopatki w ich optymalnych pozycjach, to istotnie łopatki te nie będą mogły stanąć w innej pozycji od tej, która jest najlepsza zarówno dla danego otwarcia łopatek kierowniczych (a więc dla danego obciążenia), jak i dla danej zredukowanej liczby obrotów (a więc dla danego spadku).

Rys. 11 podaje wykres momentów otrzymanych przy próbach modelu o średnicy 16 1/2", który był



Rys. 12. Turbina w Marmet n. rzeką Kenawha.

Łopatki wirnika samonastawne. Ciśnienie wody pod tłokiem równe ciśnieniu w rurze ssącej, nad tłokiem równe ciśnieniu w spirali zasilającej (patrz a i b).

prototypem turbiny zainstalowanej w Marmet. Model ten pracował pod spadem $H = 9$ stóp. Punkty oznaczone na tych krzywych momentów odnoszą się do tych położenia łopatek wirnika, przy których dla danych otwarć łopatek kierowniczych otrzymano najlepszą sprawność. Zauważamy, że wszystkie te punkty leżą na prostej niemal poziomej, co dowodzi, że moment ma przy wszystkich skojarzeniach najlepszych obu układów łopatek praktycznie tę samą wartość.

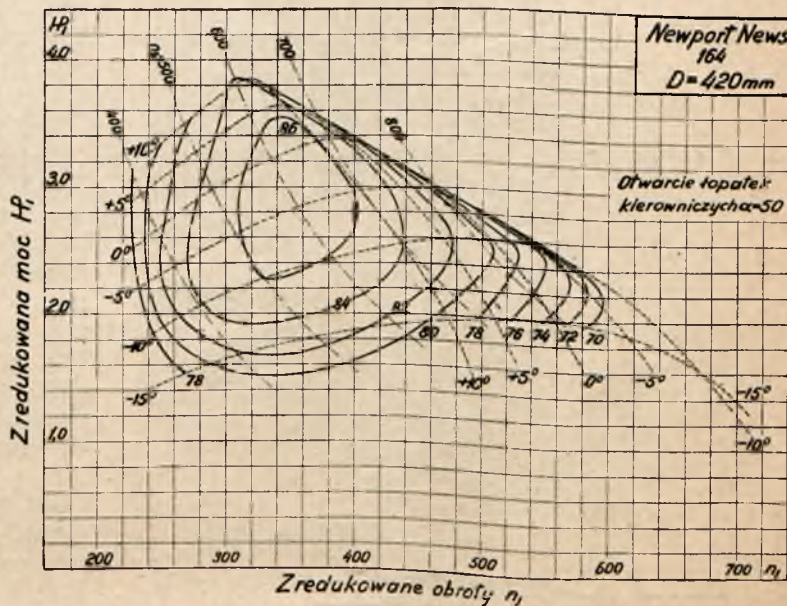
Wymaganą przeciwsilę otrzymuje się od ciśnienia wody, działającej na tłok umieszczony w piąście, do którego przymocowane są zębátky lub ciągną połączone z dźwigienkami na osiach łopatek (rys. 12). Jeżeli woda wpuszczona jest do cylindra wprost ze zbiornika zakładu, a spadek jest zmienny, to dodaje się jeszcze sprężynę o odpowiedniej charakterystyce, która wyrównywa różnicę ciśnień oraz ewentualne różnice samego momentu działającego na łopatki. Tak była zbudowana turbina dla zakładu Marmet.

Obecnie budowane lub projektowane turbiny nie mają już tej sprężyny, a natomiast w celu uwolnienia się od zmian spadku, utrzymuje się przez pompowanie stałe ciśnienie wody działające na tłok, nastawiane raz na zawsze, po zainstalowaniu turbin na miejscu, za pomocą zaworu przelotowego.

Turbiny z nastawnymi łopatkami wirnika możnaby budować też i tak, że jedynie tymi łopatkami reguluje się moc i obroty turbiny, — łopatki zaś kierownicze są stałe.

Cheąc na podstawie prób dokonanych na rozpatrywanym modelu wykreślić pagórek sprawności dla takiej turbiny, trzeba się zdecydować na jakieś nachylenie stałe łopatek kierowniczych (kątem α). Oczywiście jest, że dla różnych kątów otrzymuje się różne pagórki.

Dla pagórka rys. 13 obrano kąt $\alpha = 50^\circ$ — bo aż do tego otwarcia przeprowadzono próby nawet przy najmniejszym kącie β .



Rys. 13. Turbina zbudowana z łopatkami kierowniczymi stałymi, a łopatkami wirnika nastawianymi.

Pagórek rysuje się w bardzo prosty sposób, przenosząc na inny arkusz z poszczególnych pagórków linie otwarć $\alpha = 50^\circ$ z oznaczonymi na nich punktami, w których warstwie się z nimi przecinają, i łącząc punkty tych samych sprawności liniami ciągłymi. Widzimy, że charakter tego pagórka odbiega znacznie od poprzednich; w ogóle jest on znacznie węższy, a zatem, na ogół biorąc, turbina taka nie da przy zmiennych warunkach pracy tak dobrych wyników jak turbina Kaplana, chociaż da lepsze wyniki od turbiny z nieruchomymi łopatkami wirnika.

Na podstawie powyższych pagórków możemy teraz dla jeszcze lepszego uświadomienia sobie różnic między poszczególnymi rozwiązaniami wykreślić krzywe mocy i sprawności, jakie otrzymamy w rzeczywistych warunkach pracy instalacji, mającej turbinę podobną geometrycznie do rozpatrywanego modelu. Założmy średnicę wirnika 10 razy większą od średnicy rozpatrywanego modelu, a więc 165 cali, czyli okrągło 4,20 m, liczbę obrotów $= 94$; $H_{\min.} = 4$, $H_{\text{norm.}} = 7$, $H_{\text{maks.}} = 9$ m. Jest to jak widzimy, zakład o bardzo zmiennym spadzie, typowy zakład zbiornikowy.

Otrzymujemy:

$H = 4$	7	9
$H_1/H = 2$	2,645	3
$H_1/H = 8$	18,52	27
$n_1 = 47$	35,4	31,4
$n_1 \text{ modelu} = 470$	354	314

Przecinamy poszczególne pagórki na liniach $n_1 = 470, 354, 314$ i odczytujemy z nich sprawności i odpowiednie zredukowane moce. Po pomnożeniu tych mocy przez drugą potęgę stosunku średnic, a zatem przez 100, oraz przez odpowiednie H_1/H , a więc przez 8, 18,52, wzgl. 27, otrzymamy η w zależności od mocy dla każdego z powyższych spadów.

Sprawności te powinniśmy jednak jeszcze poprawić, uwzględniając zmniejszenie się strat, odpowiadające powiększeniu wymiarów. Zaproponowano kilka wzorów, uwzględniających tę poprawkę. Różnią się one tym, że jedne traktują wszystkie straty en bloc, inne dzielą je na straty hydraulicznej i mechanicznej natury, uwzględniają różnice spadów H i t. p. W danym wypadku zastosujemy najprostsz, używany przeważnie w Ameryce, a zaproponowany przez prof. Moody'ego, biorący wszystkie straty en bloc.

Wzór ten brzmi:

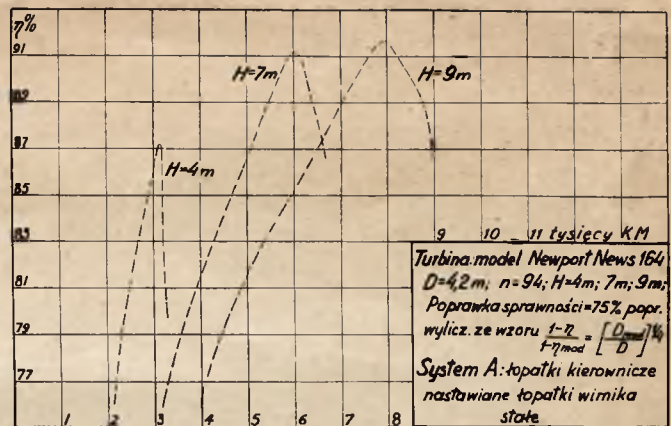
$$\frac{1 - \eta}{1 - \eta_m} = \left[\frac{D_m}{D} \right]^{1/4},$$

gdzie: η_m i D_m odnosi się do modelu, a η i D — do turbiny skonstruowanej wg niego.

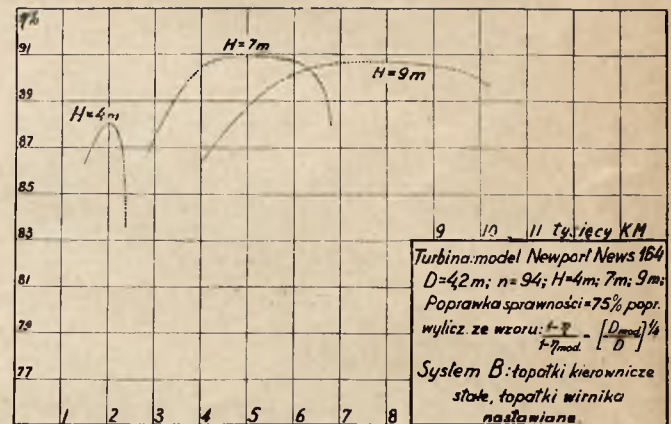
Ponieważ $D = 10 D_m$, otrzymamy po przeróbce następującą poprawkę:

$$\eta - \eta_m = 0,44(1 - \eta_m).$$

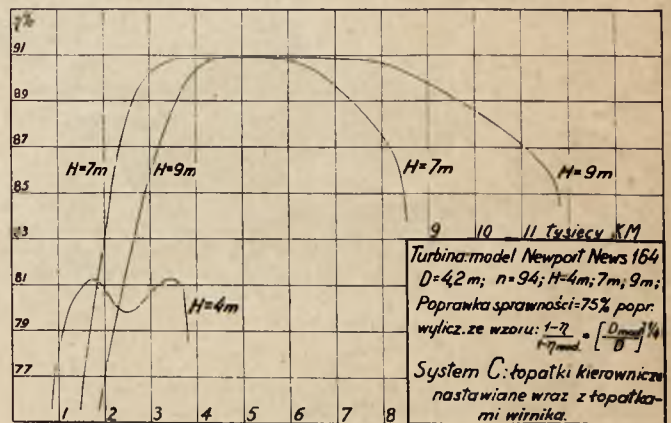
O tyle więc trzeba by było podnieść sprawności wzięte z naszych wykresów. Ponieważ jednak spotykamy się z opinią, że wzór Moody'ego daje nieco



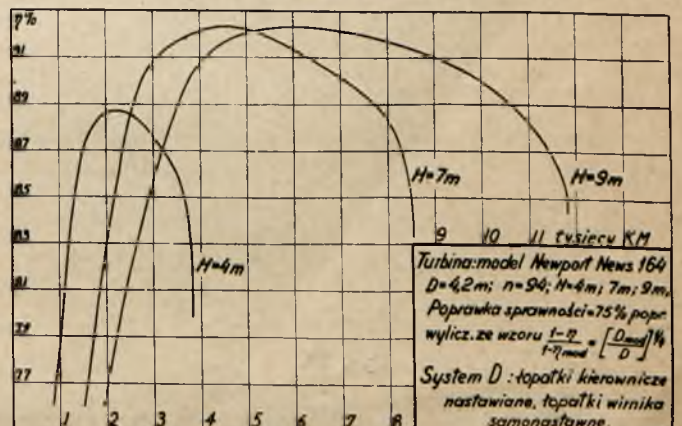
Rys. 14.



Rys. 15.



Rys. 16.

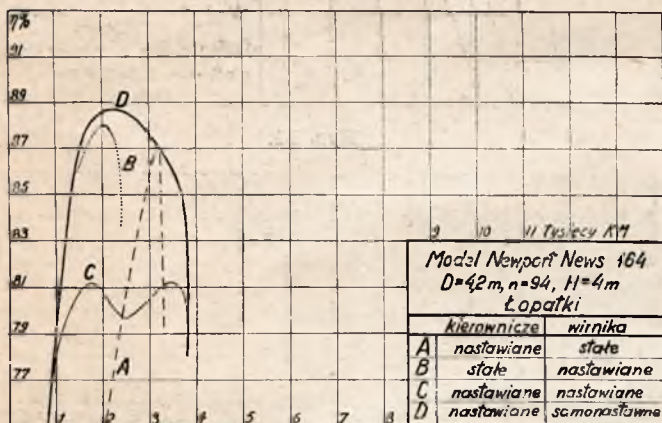


Rys. 17.

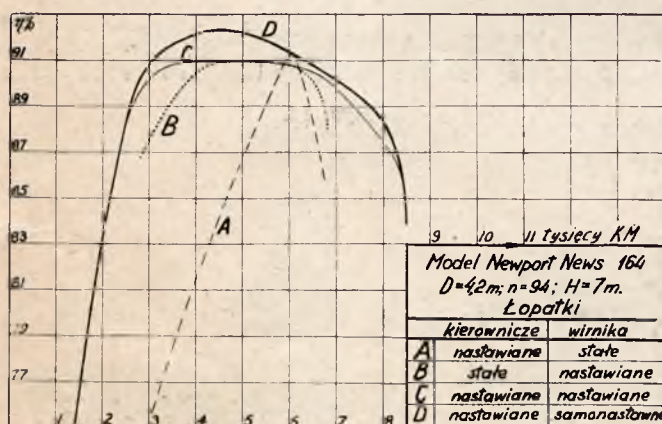
za duże sprawności, szczególnie w zastosowaniu do turbin śmigłowych, więc dodajemy do odczytanych z wykresów naszych wartości tylko $\frac{1}{3}(1-\eta_m)$ zamiast $0,44(1-\eta_m)$.

Na powyższej podstawie opracowano krzywe:

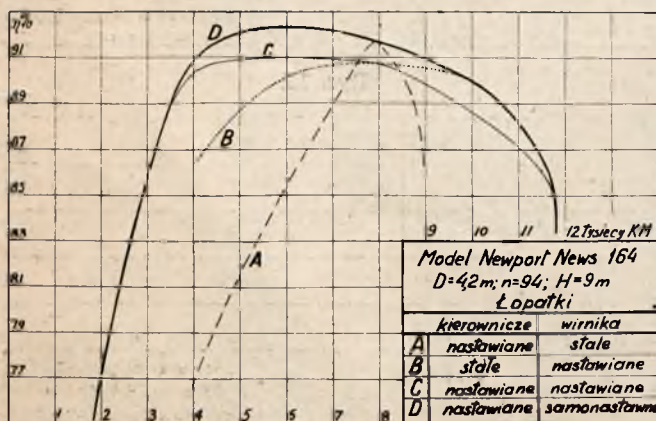
(A) rys. 14 — dla turbiny zbudowanej jako zwykła turbina śmigłowa z łopatkami wirnika stałymi, przy czym założono, że łopatki te mają nachylenie $\beta = 0$ (pagórek D, rys. 2);



Rys. 18.



Rys. 19.



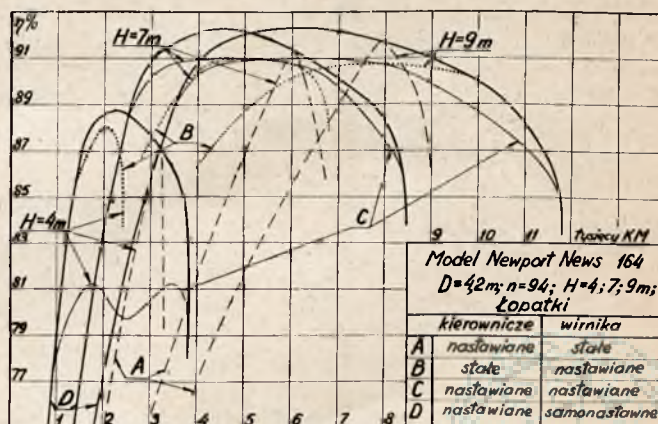
Rys. 20.

(B) rys. 15 — dla turbiny zbudowanej według systemu mającego łopatki kierownicze stałe ($\alpha = 50^\circ$), a łopatki wirnika nastawiane (pagórek rys. 13);

(C) rys. 16 — dla turbiny zbudowanej jako normalna turbina Kaplana, mająca łopatki kierownicze i wirnika nastawiane z zewnątrz, przy czym uwzględniono tylko to skojarzenie ruchów obu układów łopatek, które by w tym wypadku niewątpliwie zastosowano, t. j. to, na podstawie którego opracowano pagórek rys. 9;

(D) rys. 17 — dla turbiny zbudowanej według systemu Newport News, w której łopatki kierownicze są nastawiane z zewnątrz, a łopatki wirnika nastawiają się samoczynnie na swe najlepsze otwarcie (pagórek rys. 10).

Na rys. 18, 19 i 20 zestawiono otrzymane krzywe według spadów $H = 4, 7$ i 9 m, a na rysunku 21



Rys. 21.

zestawiono wszystkie krzywe obok siebie. Ostatnie rysunki mówią same za siebie. Szczególną uwagę jednak zwrócić należy na różnice zachodzące przy pracy turbin pod minimalnym spadem $H = 4$ m.



Les turbines à hélice aux palettes réglables

Résumé:

Ayant souligné les avantages des turbines à hélice aux palettes réglables (Kaplana), l'auteur indique le nouveau progrès réalisé dans la construction de ce genre des turbines, notamment la réalisation de la turbine aux palettes autoréglables par M. Terry (à la Newport News Shipbuilding Co. aux Etats Unis). Il analyse ensuite les résultats des essais du modèle de cette turbine, ainsi que l'influence de diverses combinaisons des ouvertures des palettes de l'hélice et des aubes du distributeur sur le rendement de la turbine du type Kaplan, en l'illustrant par les diagrammes des „collines” du rendement. Il montre aussi l'effet de l'autorégulation des positions des palettes suivant le meilleur rendement et décrit brièvement la construction de la turbine du syst. Terry. Puis l'auteur s'arrête sur l'analyse du rendement d'une turbine aux palettes réglables, mais aux aubes fixes du distributeur. Enfin il donne une comparaison des courbes du rendement des turbines à hélice: 1° aux palettes fixes; 2° aux palettes réglables et aubes du distributeur fixes; 3° aux palettes et aubes réglables (type Kaplan); 4° aux aubes réglables et palettes autoréglables (type Terry) — pour l'hauteur de chute 4, 7 et 9 m.



NP1864

BZ06PK/005-34