

TECHNIKA CIEPLNA

Czasopismo Stowarzyszenia Dozoru Kotłów w Warszawie.

Oficjalny Organ Polskiego Komitetu Normalizacyjnego dla Spraw Kotłowych.

Redaktor: Inż. techn. JAN KOMARNICKI.

Wydawca: Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie.

REDAKCJA i ADMINISTRACJA: Warszawa, Chmielna 2, m. 6. Tel. 275-45.

GODZINY BIUROWE: Redakcji—piątki, od 18 do 20, Administracji—codziennie, od 9 do 15.

TREŚĆ: Prof. Dr. W. Chrzanowski. Nowoczesne turbiny parowe. — W. Łoskiewicz, inż. i Z. Jasiewicz, inż. Lutowanie twarde. — Prof. W. Borowicz. Dysze spiętrzające przy pomiarach ilości pary. — B. Szapiro, inż. Niebezpieczeństwo urządzeń elektrycznych. — SPROSTOWANIA.

SOMMAIRE: W. Chrzanowski, prof. dr. Les turbines à vapeur d'aujourd'hui. — W. Łoskiewicz ing. et Z. Jasiewicz, ing. Les joints brasés. — W. Borowicz, prof. L'application des ajutages pour le mesurement du debit de a vapeur. — B. Szapiro, ing. Les dangers des installations electriques. — ERRATA.

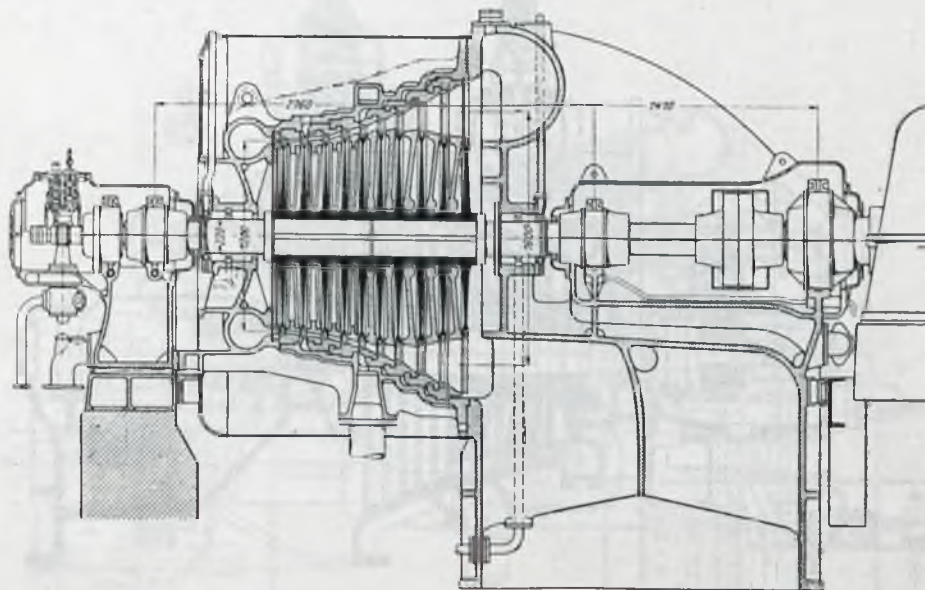
Prof. Dr. inż. WIESŁAW CHRZANOWSKI

NOWOCZESNE TURBINY PAROWE.

(por. Technika Ciepła, 1928, str. 105).

Wielostopniowe osiowe turbiny akcyjne nie posiadają wśród wytwórców turbin obecnie tak dużo zwolenników jak dawniej. Niejedna fabryka, należąca dawniej do syndykatu Zoelly'ego, zaprzestała budowy tego

Jak poprzednio zaznaczyłem, cechą charakterystyczną turbin Zoelly'ego jest mała liczba stopni ciśnienia, np. aż do ciśnienia dolotowego 25 atn stosuje Zoelly przy 20.000 kW tylko 10 stopni, a przy 40.000 kW — 12 stopni, przy



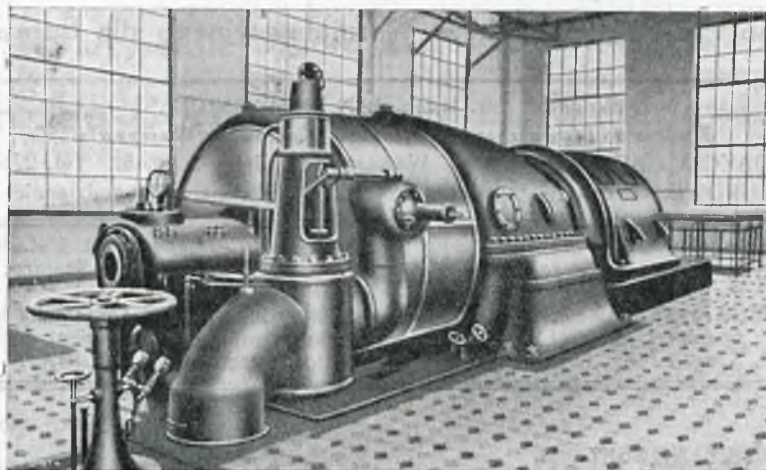
Rys. 28. Turbina jednokadłubowa Escher i Wyss'a (system Zoelly) o mocy 11000 kW, $n = 3000 \text{ obr/min}$, $p_1 = 14 \text{ atn}$, 350° C , $p_2 = 0,045 \text{ atn}$.

typu; również niewielka jest liczba fabryk, które budują wielostopniowe osiowe turbiny akcyjne o większej liczbie stopni ciśnienia niż Zoelly, więc turbiny pracujące z mniejszą prędkością pary, a posiadające mniejsze średnice pierwszych wirników niż turbiny Zoelly'ego.

wyższych ciśnieniach do 35 atn turbina otrzymuje 1 do 2 stopni więcej. Skutkiem tego trzeba wykonywać wirniki o dużych średnicach, aby uzyskać korzystny stosunek prędkości obwodowej wirnika μ do prędkości pary c_1 , oraz aby uzyskać dostatecznie dużą liczbę jakościową

Parsons'a. Przy dużych spadkach ciśnienia w poszczególnych stopniach i dużych średnicach wirników przeginanie się tarcz kierowniczych bywa nieraz powodem postępu silnika. Z tej przyczyny fabryka Escher i Wyss zwraca szczególną uwagę

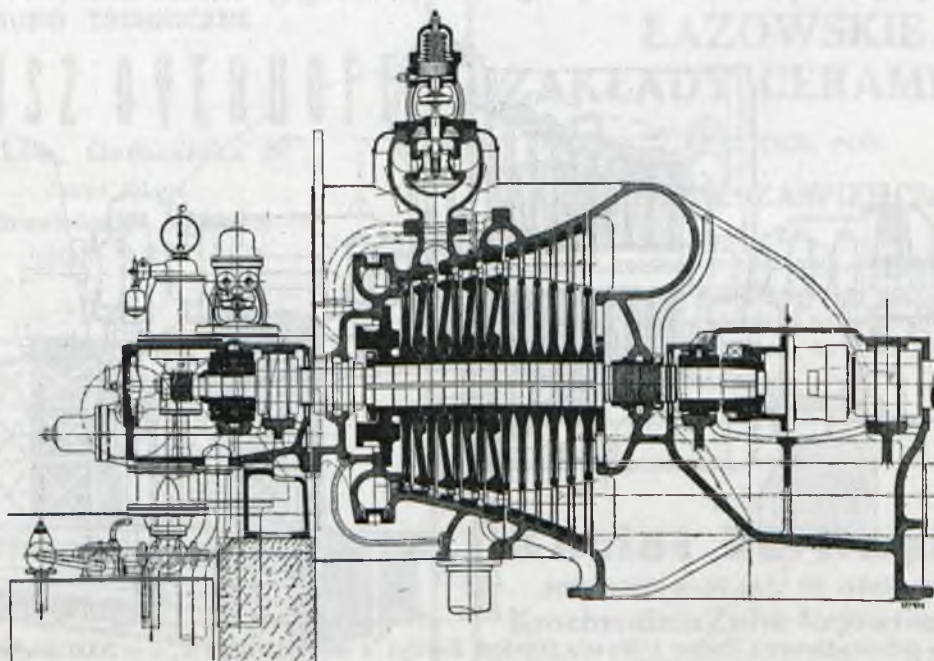
bie w kierunku osiowym, lecz nasuwa się pytanie, czy tak kosztowna konstrukcja jest usprawiedliwiona w systemie, stosującym ze względu na osiągnięcie małych kosztów wytwórczych małą liczbę stopni ciśnienia. Wielostopniowa osiowa



Rys. 29

na możliwie sztywne wykonanie tarcz kierowniczych, jak to widzimy z rys. 28, przedstawiającego turbinę o mocy 11.000 kW przy 3.000 obr/min. Wieńce tarcz kierowniczych są tutaj na siebie nasunięte tak, że tworzą one właściwie

turbina akcyjna jest przecież właśnie z powodu tarcz kierowniczych kosztowniejsza od reakcyjnej, więc ograniczając ze względu na koszty wytwórcze liczbę tych tarcz trzeba również ograniczyć koszty ich wyrobu.



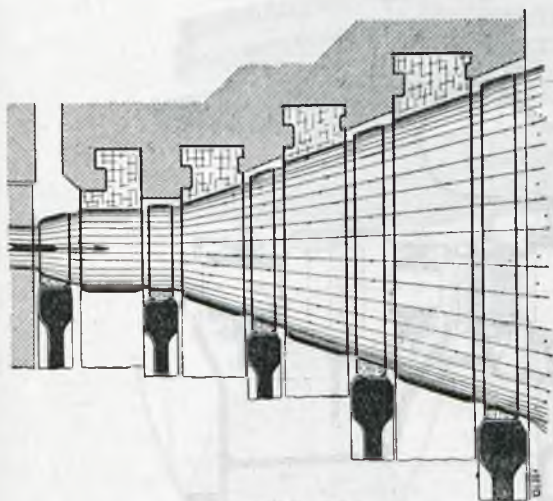
Rys. 30. Turbina jednokadłubowa akcyjno-reakcyjna fabryki Brown Boveri.

drną ściankę kadłuba turbiny. W ten sposób osiąga się wprawdzie większą sztywność całości kilku tarcz kierowniczych, wydłużanie ich osiowe jest także możliwe, bo tylko jedna z połączonych ze sobą kierownic jest ustalona w kadłubie

Jeśli jednak praktyka wykazuje, iż szczególnie, kosztowne usztywnienie tarcz kierowniczych w tym systemie turbin jest konieczne, to byłoby to również wskazówką, że w części niskoprężnej, w której duże średnice wirników są

nieuniknione, ma więcej racji bytu system reakcyjny.

W turbinach akcyjnych o małej liczbie stopni ciśnienia można wprowadzić, zwłaszcza przy średnich ciśnieniach dolotowych, osiąga-

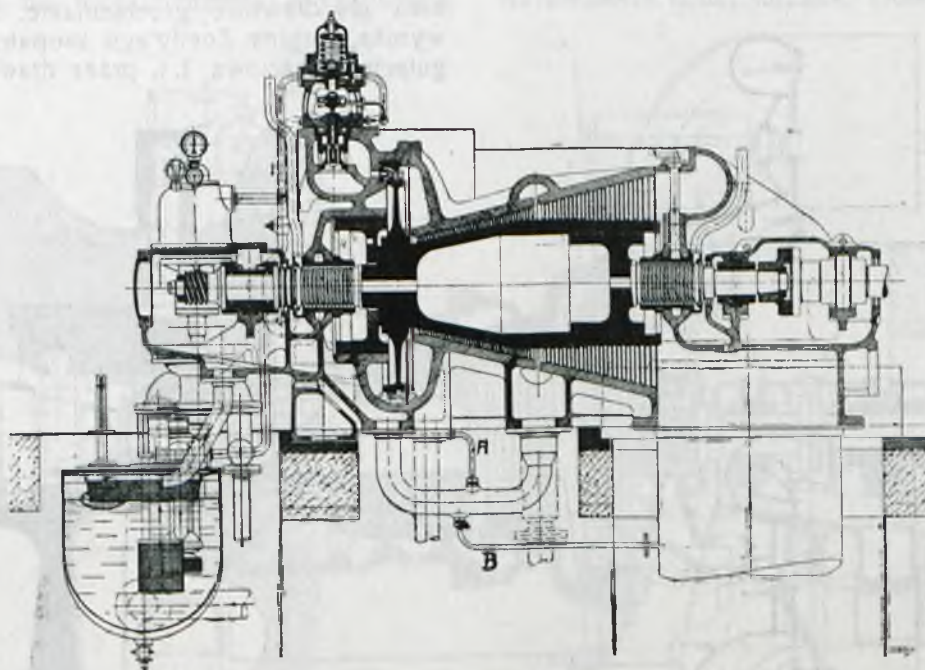


Rys. 31.

nać korzystne wyniki zużycia pary w okresie roku gwarancyjnego, lecz można słusznie wyrazić obawę, że zużycie to znacznie wzrośnie z biegiem czasu, ponieważ przy obecnym stanie materiałów zdzieranie łopatek będzie znacznie większe niż w turbinach, pracujących z mniej-

szą średnicą, co do przeginania się, a zatem zacierania się tarcz kierowniczych, w końcu co do trwałości krótkiego kadłuba o dużej średnicy, podlegającego dużym różnicom temperatur. Nie można oczywiście twierdzić, że ostatnio wspomniane zjawiska, które przy dzisiejszym stanie materiałów mogą narazić na szwank niezawodność ruchu silnika, nie będą w przyszłości oponowane; — z pewnością umysł inżyniera będzie dążył w tym kierunku, bo widzi w tym duży cel ekonomiczny, t. j. zmniejszenie kosztów wytwórczych silnika.

O szczegółach budowy turbiny, przedstawionej na rys. 28, należałoby zaznaczyć, że konstruktor zwrócił także szczególną uwagę na prawidłowy kształt części wylotowej kadłuba, aby możliwie zmniejszyć straty, połączone z odpływem pary z kadłuba; — średnica rury jest większa od długości właściwego kadłuba turbiny. Jeśli ostatni wykonany jest ze staliwa, to i na część wylotową, trzeba użyć tego samego materiału, gdyż w razie przeciwnym uszczelnienie obydwóch połówek kadłuba w pobliżu miejsca przytwierdzenia jego części wylotowej sprawia bardzo duże trudności, z powodu innego wydłużania się staliwa niż żelaza. Całość kadłuba turbiny spoczywa po stronie niskoprężnej na łapach i przytwierdzona jest po stronie wysokoprężnej do korpusu łoża. Położenie kadłuba względem łoża ustalają trzy kliny, mianowicie dolny ustala położenie osiowe, a dwa boczne, umieszczone w pobliżu



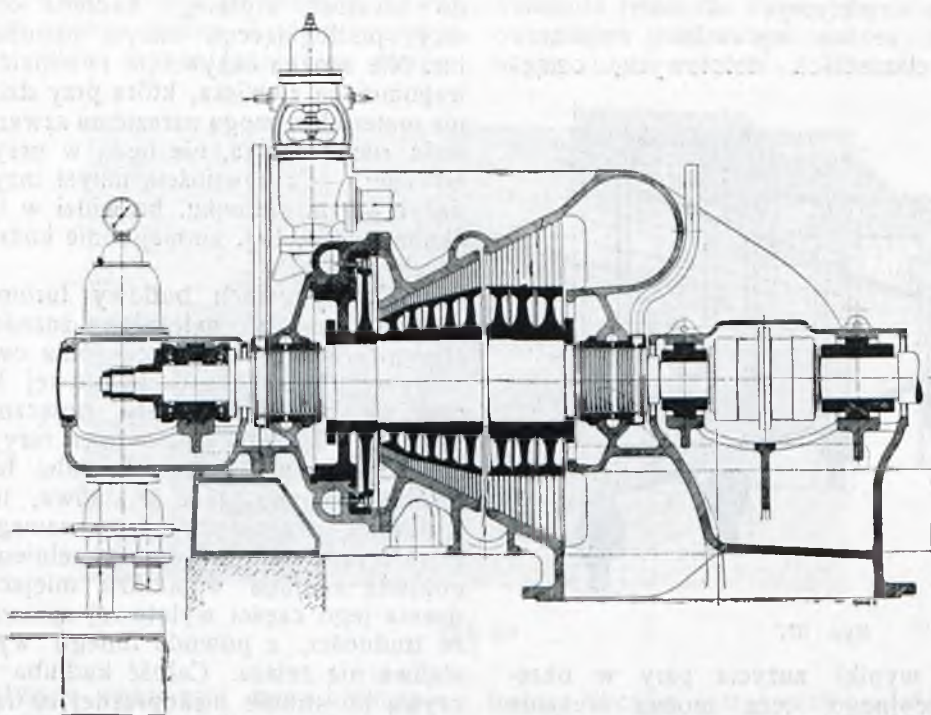
32. Turbina Brown Boveri dla mocy 600 do 2000 kW.

szymi prędkościami pary. Oprócz tego można mieć pewne zastrzeżenia co do niezawodności takiego silnika przy wyższych ciśnieniach i temperaturach pary, w szczególności co do odkształceń pierwszego wirnika, posiadającego bardzo

osi geometrycznej silnika, ustalają położenie względem tejże osi. W stosunku do płyty fundamentowej kadłub ustalony jest po stronie niskoprężnej, a współosiowe wydłużanie zapewnia podłużny klin w korpusie łoża po stronie wysoko-

prężnej. Łoże stopowe, umieszczone po stronie wysokoprężnej jest budowy grzebieniastej,

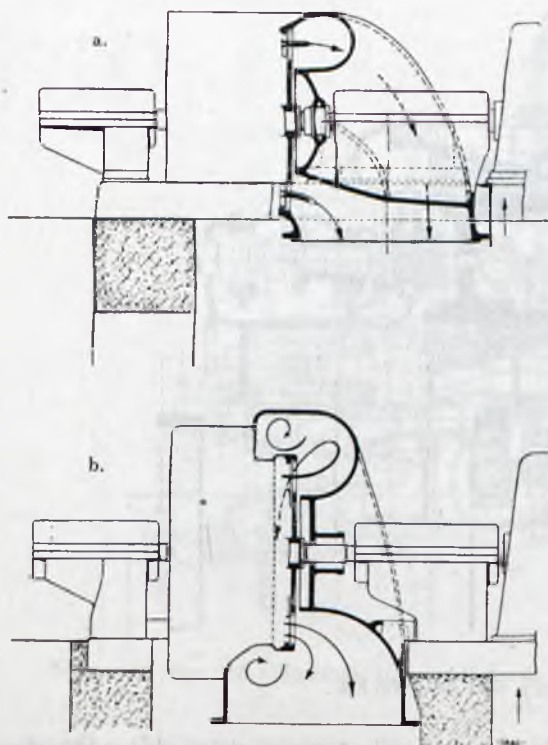
na wał, a uszczelnienie w dławnicach dokonane jest zapomocą pierścieni węglowych, które nie



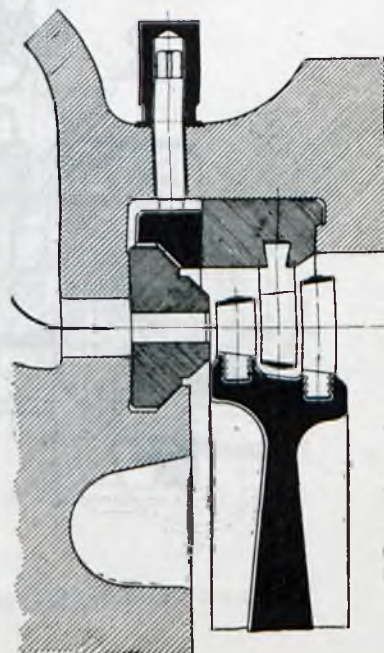
Rys. 33. Turbina Brown-Boveri dla mocy 3000 do 10000 kW.

może więc zawieść, jak to praktyka wykazuje, w razie większej nieszczelności uszczelnień mię-

zapewniają, zwłaszcza przy wyższych ciśnieniach pary dołotowej takiej niezawodności biegu silnika jak dławnice grzebieniaste. Jak z rys. 29 wynika, turbiny Zoelly'ego zaopatrzone są w regulację jakościową, t. j. przez dławienie pary do-



Rys. 34.



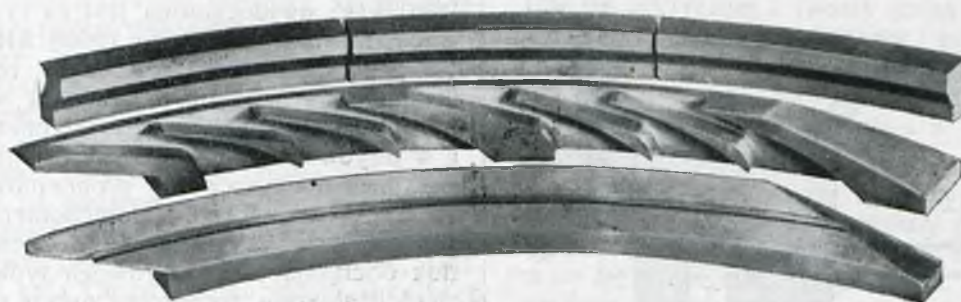
Rys. 35.

dzystopniowych, umieszczonych w piastach kierownic. Wirniki nasadzone są z małym stożkiem

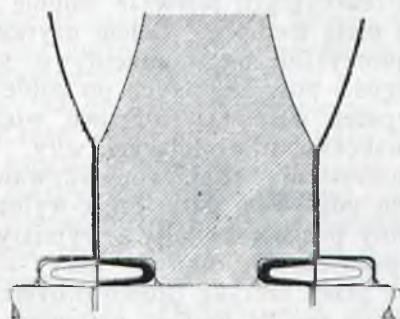
lotowej; w mniejszych typach stosuje się jeden zawór dławiący, w większych—dwa. Oczywiście re-

gulacja tego rodzaju powoduje większe straty przy zmniejszeniu obciążenia niż regulacja ilościowo-jakościowa.

wysokich ciśnieniach pary dolotowej (około 20 *atn*) i temperaturze 350° do 400° C polecać tylko dla mniejszej mocy silnika (ok 4000 *kW*),



Rys. 36.

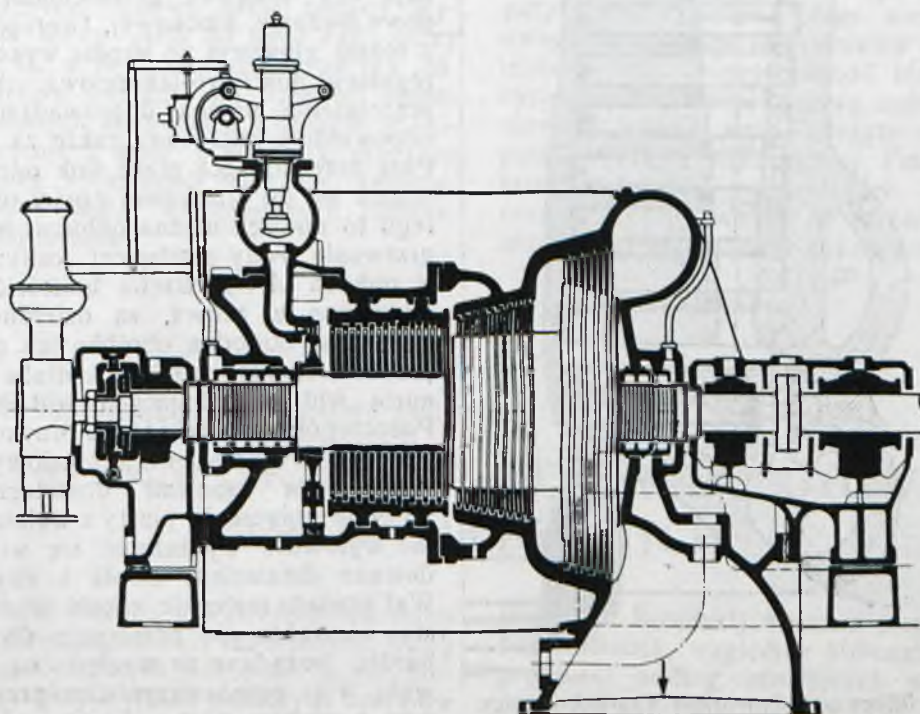


Rys. 37.

Wątpliwości powyżej szczegółowo rozważone skłaniają do wypowiedzenia zapatrywania,

jeśli niezawodność jego ruchu i trwałość łopatek mają być czynnikiem decydującym,

Ostatnie względy oraz większa sprawność reakcyjnej części niskoprężnej były też przyczyną prawie zupełnego zaniechania budowy dawniej bardzo rozpowszechnionych turbin jednokadłubowych systemu kombinowanego, składających się z koła Curtis'a i 6 do 10 stopni akcyjnych. Również można mieć poważne zastrzeżenia tak co do sprawności jak i niezawodności ruchu jednokadłubowej turbiny, przedstawionej na rys. 30, a składającej się z kilku stopni akcyjnych i kilku stopni reakcyjnych. Typ powyższy buduje *Brown-Broveri* w tych wypadkach, w których zależy na możliwie taniej turbinie, mianowicie dla mocy

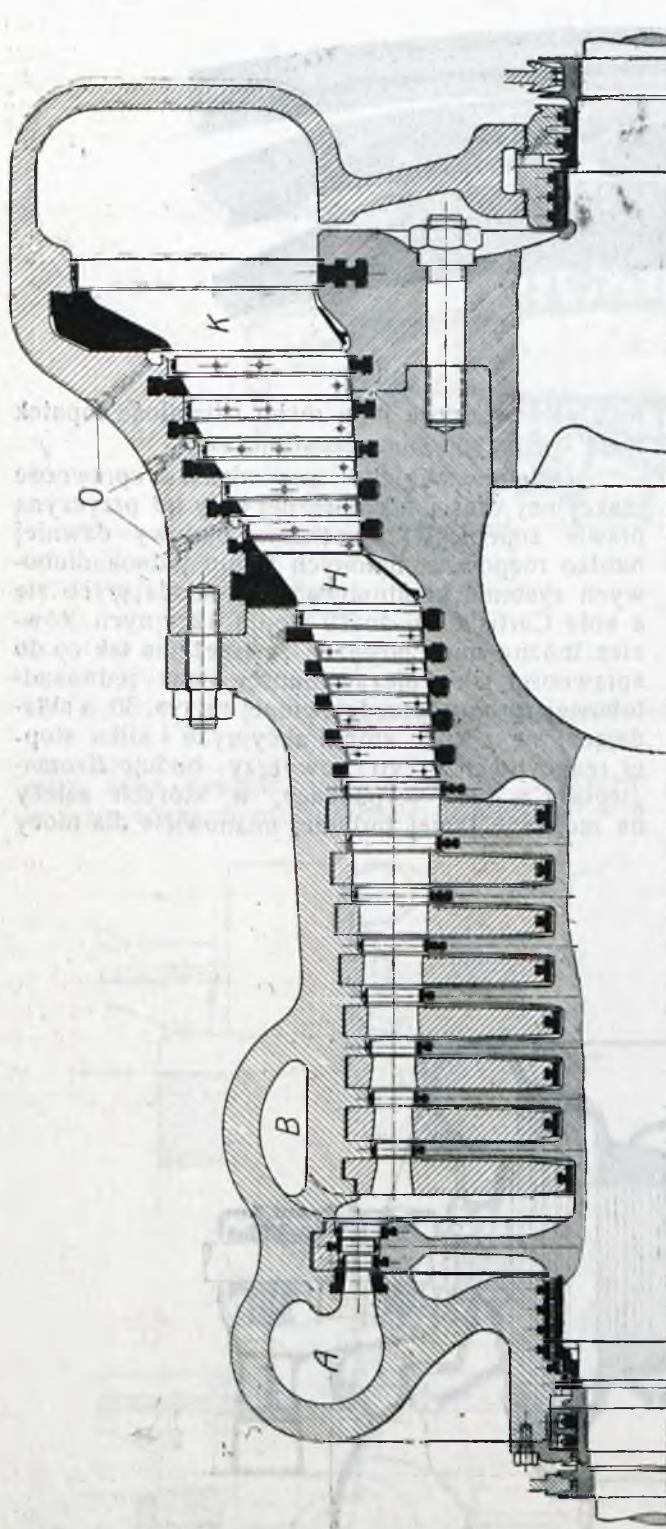


Rys. 38 Turbina jednokadłubowa Fabryki A. E. G. dla mocy 3000 do 6000 *kW* przy 3000 *obr/min*.

że kondensacyjne jednokadłubowe turbiny wielostopniowe akcyjnego systemu (n. p. systemu Zoelly'ego) możnaby przy obecnie stosowanych

6000 do 20000 *kW* przy $n = 3000$ *obr/min*, a dla mocy od 30000 do 40000 *kW* przy $n = 1500$ *obr/min*. Łopatki reakcyjne nie posiadają

tutaj żadnego uszczelnienia, a uchodzeniu pary poza niemi zapobiega się tutaj, jak to widać z rys. 31, przez uchwycenie strumienia pary łopatkami



Rys. 39. Turbina Pierwszej Brneńskiej Fabryki, o mocy 11.000 kW, $n = 3.000$ obr/min.

kami w odpowiednich miejscach przedłużonymi.

Normalnym typem jednokadłubowych turbin kondensacyjnych fabryki *Brown-Boveri* jest tur-

bina kombinowana, składająca się z koła Curtis'a i z wielostopniowej reakcyjnej części niskoprężnej; — turbiny te pracują z liczbą obrotów 3000 na minutę, Budowa, używana dla mocy 600 do 2000 kW, uwidoczniła jest na rys. 32, a używana dla mocy 3000 do 10000 kW na rys. 33. W pierwszym wypadku część reakcyjna jest umieszczona na bębnie natomiast w drugim na osobnych wirnikach z rozszerzonymi wieńcami, a w obydwóch wypadkach uszczelnienie uzyskuje się przez małe szczeliny promieniowe pomiędzy częściami wirującymi i nieruchomymi, oraz stosuje się ze względu na duży nacisk reakcyjny tłok obciążający. W obydwóch typach konstruktor zwrócił słuszenie szczególną uwagę na prawidłowe wykonanie części niskoprężnej. Celem uzyskania możliwie dużej długości łopatek w pierwszych wieńcach reakcyjnych pierwsze stopnie ciśnienia posiadają małą średnicę. Celem uzyskania możliwie najkorzystniejszego przepływu strumienia pary, długości poszczególnych po sobie następujących łopatek wzrastają stożkowo, więc z uniknięciem uskoków powodujących wiry. W końcu celem zmniejszenia strat, spowodowanych niewłaściwym odpływem pary, część wylotowa kadłuba turbiny posiada kształty i wymiary, zapewniające prawidłowy odpływ pary; — budowa stosowana przez fabrykę *Brown-Boveri* uwidoczniła jest na rys 34 pod a, natomiast wadliwa budowa pod b.

O szczegółach budowy turbin uwidoczniomych na rys. 32 i 33 można zaznaczyć, że posiadają one dławnice grzebieniaste, łożysko stopowe budowy klockowej, tworzące jedną całość z łożem głównym po stronie wysokoprężnej, oraz regulację ilościowo-jakościową. W razie dużego przeciążenia można doprowadzać parę świeżą, odpowiednio zdławioną, także za kołem Curtis'a. Parę przechodzącą przez tłok odciążający odprowadza się do środkowej części reakcyjnej, z którego to miejsca można odbierać też parę do podgrzewania wody zasilającej kotły; — oczywiście w rurkach A i B trzeba umieścić kurki. Dysze, wykonane z żeliwa, są dzielone (rys. 36), co umożliwia dogodną obróbkę ich mechaniczną; — przytwierdzenie dysz do kadłuba turbiny zapomocą śrub dociskających widzimy na rys. 35. Poszczególne wirniki osadza *Brown-Boveri* na sprężynujących pierścieniach stalowych (rys. 37), które mają zapewnić dostateczne naprężenie wstępne połączenia piasty z wałem, a drugostronnie wyrównać wydłużanie się wirników, spowodowane działaniem ciepła i siły odśrodkowej. Wał posiada małe uskoki w średnicach, piasty wirników nie przylegają do siebie, co jest bardzo pożądane ze względu na przeginanie się wału, więc przede wszystkim przy wale pracującym z większą liczbą obrotów od krytycznej.

Mimo zalet poprzednio wymienionych można wyrazić poważne obawy co do stosowania turbin typu przedstawionego na rys. 32 i 33 przy mniejszej ilości pary przepływającej przez łopatki. Wypadek ten zachodzi w turbinach kondensacyj-

nych przy mocy mniejszej od około 5000 kW, jeśli ciśnienie dolotowe jest wyższe od 20 atn, a temperatura wynosi 350° do 370° C, bo otrzymuje się wtedy łopatki reakcyjne pierwszych wieńców o niedostatecznej długości. Chcąc w takiej turbinie uzyskać dobrą sprawność, trzeba zastosować we wspomnianych wieńcach bardzo małe szczeliny pomiędzy częściami wirującymi i nieruchomymi, które nie są dopuszczalne ze względu na niezawodność ruchu silnika.

Ponieważ niezawodność ruchu silnika stawiać należy na pierwszym miejscu, przeto uważam za korzystniejszy przy wyższych ciśnieniach pary dolotowej typ turbiny kombinowanej, składający się z koła Curtis'a, kilku stopni akcyjnych (3 do 9) i niskoprężnej części reakcyjnej, a budowany przez *Pierwszą Brneńską Fabrykę i Tow. A. E. G. w Berlinie*. Turbina tego rodzaju jest wprawdzie kosztowniejsza od turbiny Curtis-reakcyjnej, lecz można ją przy wszystkich ciśnieniach i temperaturach pary dolotowej z powodzeniem stosować tak przy mniejszych mocach jak i większych. Część reakcyjna, posiadająca dostatecznie długie łopatki, pracuje w tym typie w obrębie pary o niezbyt wysokim ciśnieniu i niezbyt wysokiej temperaturze, przez co zwiększa się niezawodność biegu silnika. W tym samym względzie wpływa korzystnie zbędność tłoka odciążającego, ponieważ niewielki nacisk reakcyjny może być z łatwością opanowany przez nowoczesne stopowe łożysko klockowe. Natomiast nie posiada ten typ tarcz kierowniczych o dużych średnicach, których przegięcie się może być powodem postoju silnika. Budowę takiej turbiny, wykonywanej dla mocy 3000 do 6000 kW przez fabrykę A. E. G. w Berlinie widzimy na rys. 38. Za kołem Curtis'a znajduje się dziewięć stopni akcyjnych o małych średnicach wirników, w których para pracuje z małą prędkością, przez co osiąga się dużą sprawność tej części turbiny, a 13 reakcyjnych stopni niskoprężnych umieszczonych jest na bębnie.

Z powodu dużej liczby stopni ciśnienia osiąga się dużą liczbę jakościową Parsons'a Σp^2 , a zatem dobrą sprawność turbiny. Wał turbiny o dużej średnicy pracuje z mniejszą liczbą obrotów od krytycznej i tworzy jedną całość z wirnikami akcyjnymi i z bębniem, przez co całość otrzymuje dużą sztywność. Natomiast niekorzystnie na sprawność turbiny mogą wpłynąć straty wylotowe za częścią akcyjną i w połowie części reakcyjnej.

Wspomniane straty wylotowe nie zachodzą w turbinie *Pierwszej Brneńskiej Fabryki*, przedstawionej na rys. 39 dla mocy 11000 kW przy $n = 3000 \text{ obr/min}$. Konstruktor zapobiegł tym stratom przez zastosowanie szerokich kierownic H i K. Turbina ta, posiadająca wszelkie zalety omówione przy turbinie A. E. G., składa się z koła Curtis'a, zapewniającego przy regulacji ilościowo-jakościowej korzystne zużycie pary przy mniejszym obciążeniu od normalnego, 8 stopni akcyjnych i 11 reakcyjnych; łopatki kierownicze części akcyjnej są frezowane. Para świeża dopływa przy A, a dla przeciążenia przy B. Sprawność turbiny powinna być duża przy starannym wykonaniu warsztatowym, bo budowa zwraca, oprócz osiągnięcia dużej liczby jakościowej Parsons'a Σp^2 i uniknięcia strat wylotowych we wnętrzu turbiny, szczególną uwagę na racjonalne wykonanie części niskoprężnej.

W tym względzie stosuje Pierwsza Brneńska Fabryka stopniowo wzrastające długości łopatek i umiejętne zmniejszenie uchodzenia pary poza łopatkami oraz zwraca szczególną uwagę na wydadne odwodnienie przy O w części niskoprężnej. Niezawodność biegu, zapewniona systemem i sztywną budową turbiny, zostaje podniesiona jeszcze przez należyte usztywnienie łopatek w części niskoprężnej. Fabryka unika stożkowych bandaży na łopatkach, co jednakże nie może wpłynąć ujemnie na sprawność turbiny, bo nie powoduje wirów w płynącym strumieniu pary.

Inż. WŁADYSŁAW ŁOSKIEWICZ i inż. ZYGMUNT JASIEWICZ.

O WYTRZYMAŁOŚCI SZWU TWARDO LUTOWANEGO BLACH MIEDZIANYCH.

Wobec braku danych o wytrzymałości miejsca zlutowanego blach miedzianych, który to sposób łączenia jest dość często stosowany przy wyrobie niektórych aparatów i zbiorników pracujących pod ciśnieniem, trzeba było przeprowadzić badania tak otrzymanych szwów.

Badania te są tem konieczniejsze, że, jak widać z artykułów Nr. 5 *Techniki Ciepłej*, z rb.

(Michelis, Bizański) wahania przy obliczaniu grubości ścianek, względnie obliczaniu dopuszczalnej prędkości podług istniejących wzorów wykazują odchylenia dochodzące do 772% (dla dopuszczalnej prędkości).

To też Stowarzyszenie Dozoru Kotłów w Warszawie zwróciło się za pośrednictwem p. Rektora prof. inż. E. Chromińskiego do Zakładu Metalografii Akademii Górniczej w Krakowie, z propo-